



# Caracterização geológico-geotécnica de solos para aplicação em obra de reabilitação de via ferroviária

Tuany Alessandra Rodrigues

Mestrado em Geologia

Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território

2019

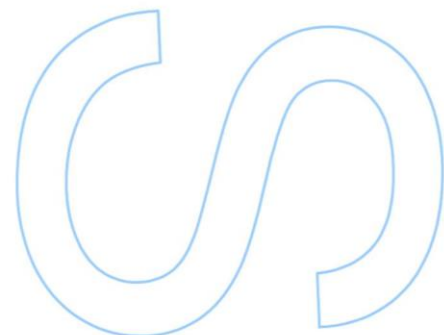
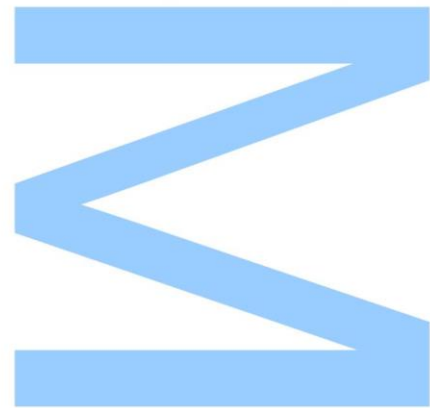
## **Orientador:**

Jorge Espinha Marques, Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

## **Coorientadores:**

Joana Ribeiro, Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

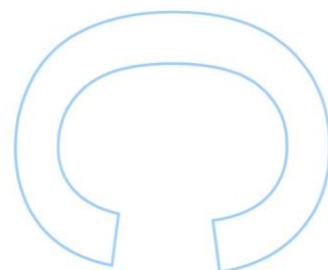
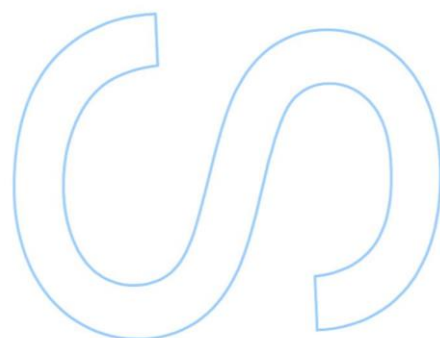
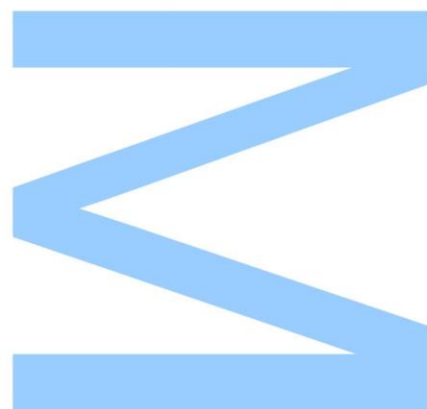
Eng.<sup>a</sup> Cristina Alves Ribeiro, Senqual





Todas as correções determinadas  
pelo júri, e só essas, foram efetuadas.  
O Presidente do Júri,

Porto, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_



*“Troque suas folhas, mas não perca suas raízes.  
Mude de opinião, mas não perca seus princípios.”*

[Victor Hugo]

## AGRADECIMENTOS

A Deus.

Agradeço a minha mãe, que me ensinou a importância de sonhar e a ser uma pessoa íntegra, com caráter, humildade, coragem e dignidade para enfrentar a vida. Uma mãe que me deixou livre para seguir minhas escolhas e não mediu esforços para que elas acontecessem, mesmo com toda a distância e saudade.

Agradeço ao meu pai, que me ensinou os valores que se deve ter na vida. Que do seu jeito calado, demonstrava sua alegria a cada etapa que eu vencia, fazendo sempre o impossível para suprir todas as minhas necessidades. Que da sua maneira me motivou a batalhar e chegar aonde cheguei, com os pés no chão.

Ao Bruno, por me acompanhar nesta caminhada e estar da maneira mais linda me apoiando a ir atrás dos meus objetivos.

Um agradecimento especial a Professora Joana, por toda orientação e aprendizagem. Que partilhou comigo as suas ideias, conhecimento e experiência. Quero expressar a minha admiração pela sua competência profissional e pela forma como conduziu a minha orientação.

A empresa Senqual e toda sua equipe pela oportunidade da realização de um estágio e por todo conhecimento e experiência a mim transmitido.

A todos os professores que dedicaram o seu tempo e sua sabedoria para que minha formação acadêmica fosse mais um aprendizado de vida.

Aos amigos que Portugal me proporcionou, portugueses, brasileiros e tchecos, com certeza vocês foram essenciais, se tornaram parte da minha família.



## RESUMO

A caracterização dos solos é de suma importância na geotecnia para o uso adequado do mesmo em diferentes tipos de aplicações, como é o caso de infraestruturas lineares. Esta caracterização deve ser feita através de ensaios em laboratórios e também *in situ*. Todos os ensaios devem ser realizados de acordo com procedimentos normalizados. O objetivo deste Relatório de Estágio Curricular é a caracterização geológico-geotécnica de solos para aplicação em obra de reabilitação ferroviária. O estudo de caso corresponde a um troço da Linha do Minho entre Viana do Castelo e Valença. Foram caracterizados seis diferentes solos da região do Minho, através dos seguintes ensaios em laboratório: análise granulométrica por peneiração húmida, determinação do valor de azul metileno, equivalente de areia, limites de consistência, ensaio de compactação Proctor e ensaio Californiano de Capacidade de Carga (CBR). Após a caracterização laboratorial, os solos foram classificados de acordo com as Classificações Textural, Unificada e Rodoviária. De acordo com o caderno de encargos da obra, e com base nos resultados obtidos na caracterização dos solos, verificou-se que apenas dois solos dos solos analisados apresentaram possibilidade de aplicação em obra. Depois da aplicação desses solos em obra, utilizou-se o método de controlo de compactação com gamadensímetro para verificar a conformidade em relação aos resultados obtidos em laboratório e ao grau de compactação. Por fim, concluiu-se que a caracterização dos solos através dos ensaios laboratoriais ocorre de forma satisfatória, sendo comprovadas por meio de ensaios realizados *in situ*.

**Palavras-chave:** solos para aterro, caracterização geológico-geotécnica; ensaios laboratoriais; ensaios *in situ*; classificação de solos.

## ABSTRACT

Soils characterization is of great importance in geotechnics for their proper use in different types of applications, as is the case of linear infrastructures. This characterization should be done through laboratorial and in situ tests. All processes should be performed according to standard procedures. The objective of this Internship Report is the geological-geotechnical characterization of soils for application in a railway rehabilitation project. The case study corresponds to a section of the Minho Line, between Viana do Castelo and Valença. Six different soil from Minho region were characterized through the following laboratorial tests: particle size analysis by wet sieving, determination of the methylene blue value, sand equivalent, consistency limits, Proctor compaction test, California Bearing Ratio (CBR). After the laboratorial characterization, the soils were classified according to the Textural Classification, Unified Soil Classification System and American Association of State Highway and Transportation Classification. According to the specifications of the project, and based on the results obtained in the characterization of the soils, it was verified that only two of the analyzed soils present the possibility of application. After application of these soils on the site, the compaction control method was used with a densimeter range to verify the compliance of the results obtained in the laboratory and the degree of compaction. Finally, it was concluded that the characterization of the soils through the laboratory tests occurs adequately, being verified by means of tests performed in situ.

**Keywords:** soils for landfill, geological-geotechnical characterization; laboratorial testing; in situ testing; soil classification.

## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 ENQUADRAMENTO.....	1
1.2 CONCEITOS TEÓRICOS.....	2
1.1.1 SOLOS.....	2
1.1.2 CLASSIFICAÇÕES DE SOLOS.....	3
1.1.2.1 Classificação Textural.....	4
1.1.2.2 Sistema Unificado de Classificação de Solos .....	5
1.1.2.3 Sistema de Classificação Para Fins Rodoviários .....	7
1.1.3 PROJETOS DE ATERROS PARA INFRAESTRUTURAS LINEARES.....	9
2. CASO DE ESTUDO.....	10
2.1 ENQUADRAMENTO DA OBRA.....	10
2.2 ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO DAS MANCHAS DE EMPRÉSTIMO.....	11
2.2.1 MANCHA DE EMPRÉSTIMO 1 .....	12
2.2.2 MANCHA DE EMPRÉSTIMO 2 .....	13
2.2.3 MANCHA DE EMPRÉSTIMO 3 .....	14
2.2.4 MANCHA DE EMPRÉSTIMO 4 .....	15
2.2.5 MANCHA DE EMPRÉSTIMO 5 .....	16
2.2.6 MANCHA DE EMPRÉSTIMO 6 .....	17
2.3 ESPECIFICAÇÕES DO CADERNO DE ENCARGOS .....	18
2.3.1 CONSTITUIÇÃO DOS ATERROS.....	18
2.3.1.1 Solos para o Aterro.....	19
2.3.2 CONSTITUIÇÃO DOS BLOCOS TÉCNICOS .....	21
2.3.2.1 Materiais Para o Bloco Técnico .....	22
2.3.3 PREPARAÇÃO, TRANSPORTE, ESPALHAMENTO E COMPACTAÇÃO..	24
2.4 AMOSTRAGEM.....	25
2.5 ENSAIOS EM LABORATÓRIO.....	25
2.5.1 DETERMINAÇÃO DO VALOR DE AZUL DE METILENO.....	25
2.5.2 EQUIVALENTE DE AREIA .....	28
2.5.3 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA .....	29
2.5.4 LIMITES DE CONSISTÊNCIA .....	30

2.5.5	ENSAIO DE COMPACTAÇÃO PROCTOR.....	31
2.5.6	ENSAIO CALIFORNIANO DE CAPACIDADE DE CARGA (CBR) .....	33
2.6	ENSAIO DE CONFORMIDADE ( <i>IN SITU</i> ) .....	34
2.7	RESULTADOS .....	36
2.7.1	ENSAIOS EM LABORATÓRIO.....	36
2.7.2	ENSAIOS DE VERIFICAÇÃO EM OBRA .....	43
2.7.2.1	Controlo de Compactação em Aterro da Linha Férrea .....	44
2.7.2.2	Controlo de Compactação em Edifício Técnico .....	45
2.7.2.3	Controlo de Compactação em Bloco Técnico.....	47
3.	CONCLUSÕES.....	49
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
	ANEXOS	

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diagrama Triangular de Feret (Fernandes, 1994). ....	4
<b>Figura 2.</b> Carta de Plasticidade de Casagrande (Fernandes, 1994). ....	7
<b>Figura 3.</b> Mapa de localização do troço Viana do Castelo - Valença na linha do Minho. .	10
<b>Figura 4.</b> Mapa de localização das manchas de empréstimo. ....	11
<b>Figura 5.</b> Mapa geológico e pedológico da mancha de empréstimo 1. Imagem do solo <i>in situ</i> obtida em 06/04/2019.....	12
<b>Figura 6.</b> Mapa geológico e pedológico da mancha de empréstimo 2. Imagem obtida em 06/04/2019.....	13
<b>Figura 7.</b> Mapa geológico e pedológico da mancha de empréstimo 3. Imagem obtida em 06/04/2019.....	14
<b>Figura 8.</b> Mapa geológico e pedológico da mancha de empréstimo 4. ....	15
<b>Figura 9.</b> Mapa geológico e pedológico da mancha de empréstimo 5. Imagem obtida em 08/11/2018.....	16
<b>Figura 10.</b> Mapa geológico e pedológico da mancha de empréstimo 6. Imagem obtida em 08/11/2018.....	17
<b>Figura 11.</b> Estrutura ferroviária com um aterro zonado (Caderno de Encargos, 2017). ...	18
<b>Figura 12.</b> Estrutura ferroviária com um aterro homogéneo (Caderno de Encargos, 2017). ....	19
<b>Figura 13.</b> Projeto do Bloco Técnico e materiais a serem utilizados (Caderno de Encargos, 2017). ....	22
<b>Figura 14.</b> Recolha das amostras. A) Amostra 5 - recolha através de pá e armazenamento em balde. B) Amostra 6 -recolha através de retroescavadora. C) Recolha através de pá e armazenamento em sacos.....	25
<b>Figura 15.</b> Equipamentos utilizados para o ensaio de azul de metileno. A) Bureta para dosagem.....	26
<b>Figura 16.</b> Análise de azul de metileno da Amostra 5. Nos pontos 5-1, 5-2 e 5-3 não aparece a auréola azulada. O ponto de viragem está entre 5-3 e 10-1.....	27
<b>Figura 17.</b> Realização do ensaio de equivalente de areia. ....	28
<b>Figura 18.</b> Peneiração húmida através da lavagem de jato no peneiro 0,074 mm.....	29
<b>Figura 19.</b> Ensaio de limites de liquidez. A) Material nivelado com espessura máxima de 1 cm e B) sulco aberto através do riscador. ....	30
<b>Figura 20.</b> Ensaio de limites de plasticidade. Amostra 5 - não plástica.....	31

<b>Figura 21.</b> Ensaio de compactação Proctor. A) Equipamento de compactação. B) Ensaio sendo realizado em molde grande. ....	32
<b>Figura 22.</b> Determinação das propriedades expansivas do material em molde grande com defletómetro. ....	33
<b>Figura 23.</b> Gamadensímetros de transmissão direta e indireta. Fonte: <a href="http://www.troxlerlabs.com">http://www.troxlerlabs.com</a> . ....	34
<b>Figura 24.</b> Gamadensímetro Troxler utilizado no controlo de compactação em obra. Imagem obtida em 15/03/2019. ....	35
<b>Figura 25.</b> Curvas granulométricas dos solos analisados. ....	38
<b>Figura 26.</b> Classificação textural dos solos (adaptado de Fernandes (1994)). ....	39
<b>Figura 27.</b> Esquema representativo do controlo de compactação no trecho entre o PK 89+750 e o PK 89+650. ....	44
<b>Figura 28.</b> Compactação da primeira camada para verificação. Imagem obtida em 02/02/2019. ....	44
<b>Figura 29.</b> Esquema representativo dos ensaios realizados no edifício técnico. ....	46
<b>Figura 30.</b> Compactação no edifício técnico, solo da mancha de empréstimo 2. Imagem obtida em 07/12/2019. ....	46
<b>Figura 31.</b> Aplicação e controlo do agregado-cimento no Bloco Técnico. Imagens obtidas em 15/03/2019. ....	47

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Classificação Unificada de Solos - ASTM D 2487-85 (Fernandes, 1994).....	5
<b>Tabela 2.</b> Classificação Unificada de Solos - ASTM D 2487-85 (Fernandes, 1994) (continuação).....	6
<b>Tabela 3.</b> Adequabilidade dos grupos da Classificação Unificada (modificada de Fernandes, 1994).....	7
<b>Tabela 4.</b> Classificação Para Fins Rodoviários HRB (LNEC E 240-1970).....	8
<b>Tabela 5.</b> Solos coerentes e incoerentes. ....	19
<b>Tabela 6.</b> Classificação de solos e aplicabilidade em aterros zonados (Caderno de Encargos, 2017). ....	20
<b>Tabela 7.</b> Classificação de solos e aplicabilidade em aterros homogéneos (Caderno de Encargos, (2017). ....	21
<b>Tabela 8.</b> Granulometria necessária para agregados na mistura agregado-cimento (Caderno de Encargos, 2017)).....	23
<b>Tabela 9.</b> Parâmetros mínimos para o controlo de compactação em função do tipo de solo (Caderno de Encargos, 2017). ....	24
<b>Tabela 10.</b> Resultados dos ensaios realizados em laboratório e classificação dos solos.	37
<b>Tabela 11.</b> Percentagem das frações granulométricas das amostras ensaiadas.....	38
<b>Tabela 12.</b> Resultados de Proctor com respetivas curvas de compactação e CBR. ....	41
<b>Tabela 13.</b> Resultados e curvas dos ensaios CBR. ....	42
<b>Tabela 14.</b> Síntese dos resultados apresentados para as 6 amostras. ....	43
<b>Tabela 15.</b> Resultados médios da baridade húmida, baridade seca e do teor em água por camada - aterro homogéneo.....	45
<b>Tabela 16.</b> Resultados do grau de compactação do solo - aterro homogéneo.....	45
<b>Tabela 17.</b> Resultados médios da baridade húmida e seca e do teor em água por camada - Edifício Técnico. ....	46
<b>Tabela 18.</b> Resultados do grau de compactação do solo - Edifício Técnico.....	47
<b>Tabela 19.</b> Resultados médios da baridade húmida e seca e do teor em água por camada - Bloco Técnico. ....	48
<b>Tabela 20.</b> Resultados do grau de compactação do agregado-cimento - Bloco Técnico.	48

# 1. INTRODUÇÃO

Os estudos geológicos têm grande importância na área da construção civil, levando-se sempre em consideração que a geologia e a engenharia deverão trabalhar em conjunto (Vallejo *et al.*, 2002). Uma construção feita com os melhores materiais só terá êxito se estiver assente ou fundada num local com as condições de segurança necessárias, e que não apresente qualquer vulnerabilidade à construção. Segundo Das (2007) a engenharia geotécnica é a ciência que inclui os princípios de mecânica dos solos e da mecânica das rochas ao projeto de fundações, estruturas de contenção e estruturas de terra.

A caracterização dos solos é de suma importância na geotecnia e pode ser feita através de ensaios de campo e ensaios laboratoriais. De acordo com Fernandes (1994), ensaios de campo costumam apresentar uma maior representatividade da área e maior celeridade para a obtenção de resultados. Os ensaios laboratoriais são mais demorados e poderão não apresentar a melhor representatividade da área de estudo. Contudo, os estudos laboratoriais são mais detalhados e caracterizam o comportamento do solo, tornando-se essenciais no dimensionamento das obras geotécnicas. Dessa maneira, é fundamental caracterizar os solos através da associação de ensaios em campo e laboratoriais antes do uso dos solos, bem como, verificar se o que está sendo aplicado em obra está de acordo com os resultados esperados e/ou necessários.

## 1.1 ENQUADRAMENTO

O presente relatório resulta do estágio curricular desenvolvido no âmbito da Unidade Curricular do Mestrado em Geologia, da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. O estágio curricular decorreu na empresa SENQUAL, com uma duração de 06 meses, compreendidos entre novembro de 2018 e abril de 2019.

A SENQUAL é uma empresa que presta serviços de consultoria e controlo de qualidade no âmbito da indústria da construção civil e obras públicas. Dentro do âmbito de atividades da empresa destacam-se: controlo da qualidade global em obras públicas e de construção civil; controlo de terraplenagens e pavimentos (ensaios de caracterização de solos, *tout-venants*, agregados, misturas betuminosas); controlo de betões; peritagens e pareceres técnico-económicos; apoio técnico e logístico a empresas de fiscalização e donos de obras; formação técnica nas áreas de intervenção; e auditorias internas e



consultoria no âmbito da marcação CE de agregados e da certificação da produção de betões.

O objetivo principal deste trabalho é identificar e analisar diferentes características de diversos solos para seleção e potencial utilização na reabilitação de uma linha ferroviária, através de técnicas laboratoriais. Pretende-se ainda verificar sua conformidade após aplicação através de ensaios *in situ*.

A concretização deste trabalho permitirá a aquisição de conhecimentos sobre as normas e técnicas utilizadas para caracterização de solos através de ensaios de laboratório e *in situ*. Possibilitará, ainda, consolidar e adquirir os conhecimentos em geotecnia aplicada a obras de vias de comunicação. A realização do estágio tem também como objetivo, não menos importante, a inserção em contexto empresarial. É importante compreender como uma empresa intervém na resolução de problemas de cunho geotécnico, como ela organiza seus dados e apresenta soluções.

Além de todas as atividades desenvolvidas e aprendizagem para obter os resultados que cumprissem o objetivo principal deste trabalho, efetuou-se o acompanhamento de diversos outros ensaios laboratoriais nas áreas de engenharia civil, geologia e geotecnia. Dentre eles, destacam-se: ensaios de flexão, resistência a compressão e retração em betões; ensaios químicos para determinação de sais de cloreto, conteúdo de matéria orgânica, sulfato de magnésio e reatividade do hidróxido de cálcio em granitos; ensaios em agregados, como análise granulométrica, índice de achatamento e forma, micro-Deval e Los Angeles; ensaios de permeabilidade com permeâmetro de carga constante e variável em solos.

## 1.2 CONCEITOS TEÓRICOS

### 1.1.1 SOLOS

O termo solo tem origem do latim, da palavra herdada “*solum*”. No português clássico é definido como a superfície do chão. Porém, a palavra solo apresenta diferentes conceitos, adquirindo diferentes significados de acordo com a finalidade. Existem três principais áreas onde a palavra solo é discutida: agronomia, geologia e engenharia.

Na agronomia, solo é definido como a camada de terra que suporta as raízes das plantas, normalmente com poucos metros de espessura e é a camada de terra tratável. Pode ser definido também como a camada mais superficial da crosta terrestre onde se desenvolvem as plantas e crescem os animais.

Em geologia, solo é definido como produto do intemperismo físico e químico das rochas, situado na parte superficial do manto do intemperismo. Constitui-se de material rochoso decomposto (DNIT, 2006).

Para fins de engenharia, solo é considerado todo material da crosta terrestre que não oferece resistência intransponível à escavação mecânica e que perdesse totalmente toda resistência, quando em contato prolongado com a água (DNIT, 2006). Villibor *et al* (2009) também define solo em engenharia, como materiais naturais não consolidados, constituídos de grãos separáveis por processos mecânicos e hidráulicos, de fácil dispersão em água e que podem ser escavados com equipamentos comuns de terraplenagem. Aplica-se este termo a materiais da crosta terrestre que servem de suporte em obras, reagem sob fundações, deformam-se e resistem a esforços nos aterros e taludes, influenciando as obras segundo suas propriedades e comportamentos (Vargas, 1977)

De acordo com Chiossi (2013), o conceito de solo para os engenheiros difere um pouco do conceito geológico, uma vez que, para eles, o termo inclui todo o tipo de material inorgânico ou orgânico não consolidado ou parcialmente cimentado encontrado na superfície da Terra, materiais estes em geologia considerados como rocha sedimentar ou sedimentos. Também, segundo Krynine e Judd (1980), a definição de solos em geologia falha na engenharia por não considerar os materiais que não sofreram meteorização e posterior transporte.

De acordo com a origem dos seus constituintes, os solos podem ser classificados segundo dois grandes grupos. Os solos residuais consistem em produtos de rochas meteorizadas que ainda permanecem no local onde se deu a transformação. A composição destes solos depende do tipo e da composição mineralógica da rocha original que lhe deu origem. Os solos transportados são produtos de rochas que foram transportados por um agente para um local diferente ao da transformação (Chiossi, 2013).

### 1.1.2 CLASSIFICAÇÕES DE SOLOS

Sistemas de classificação de solos partem de conhecimentos qualitativos e quantitativos sobre as suas características. Existem inúmeros sistemas de classificação de solos, com diferentes aplicabilidades, e que podem dar resposta ao uso de solos em vários campos da geotecnia. Os sistemas de classificação de solos a utilizar devem ser selecionados, tendo em conta o fim para o qual foram propostos. Estes sistemas são baseados em índices e podem servir de mecanismo para definir uma nomenclatura

padrão aos solos. Na engenharia, o principal objetivo destas, é estimar o provável comportamento dos solos e/ou orientar a investigação necessária (Pinto, 2006).

Em seguida serão apresentados três sistemas de classificações do solo amplamente utilizados, e comumente designadas de classificação textural, classificação unificada de solos e classificação para fins rodoviários.

### 1.1.2.1 Classificação Textural

A classificação textural é muito utilizada na classificação de solos em engenharia rodoviária e em pedologia. Um solo é formado por materiais minerais e orgânicos de com partículas de dimensões variadas. De acordo com Lemos & Santos (1996), o termo textura refere-se à proporção relativa das diferentes frações granulométricas que compõem a massa de um solo.

A classificação textural pode ser feita através das curvas granulométricas obtidas em laboratório e também através de diagramas triangulares. Como exemplo, o Diagrama de Feret (Figura 1), que permite a classificação textural dos solos considerando as percentagens das frações areia (2 e 0,05 mm), silte (0,05 e 0,002 mm) e argila (menor que 0,002 mm).

Esta classificação não apresenta valor geotécnico, pois está baseada apenas na distribuição granulométrica dos solos, não levando em consideração a plasticidade, que apresenta grande importância na resistência, compressibilidade e permeabilidade dos solos (Almeida, 2005).

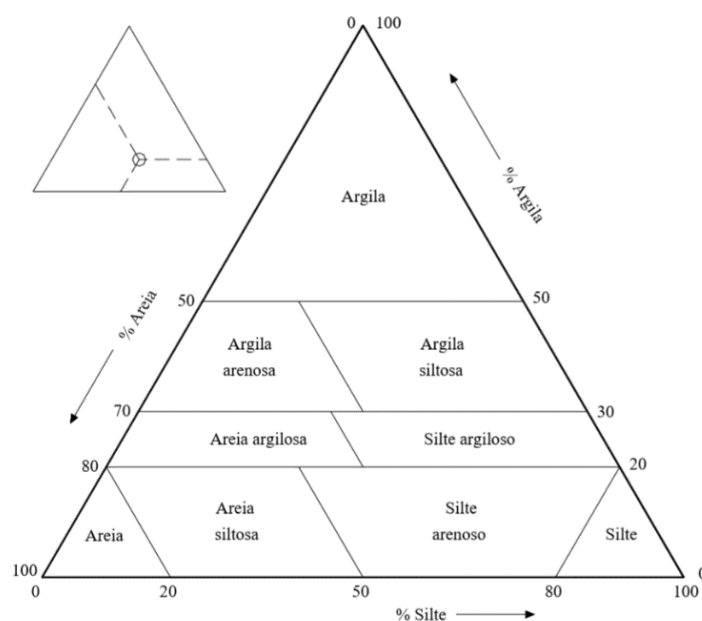


Figura 1. Diagrama Triangular de Feret (Fernandes, 1994).

### 1.1.2.2 Sistema Unificado de Classificação de Solos

O Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) foi idealizado por Casagrande em 1942 para construção de aeroportos durante a Segunda Guerra Mundial. Posteriormente, foi adaptado pelas agências americanas, a fim de permitir uma classificação sistemática (Almeida, 2005), sendo normalizada pela ASTM D 2487-85.

No SUCS os solos são divididos em seis grupos: cascalho (G), areias (S), siltes inorgânicos e areias finas (M), argilas inorgânicas (C) e siltes e argilas orgânicos (O). Estas simbologias apresentadas serão seguidas pelos sufixos dos subgrupos de acordo com as propriedades mais significativas, a depender da quantidade do teor em finos, plasticidade, entre outros. A classificação está apresentada na Tabela 1 e na Tabela 2 e para utilizá-la é necessário percorrer a tabela da esquerda para a direita e de cima para baixo.

Para esta classificação, são necessários dados de granulometria e os limites de plasticidade do solo. A granulometria começa a classificar os materiais de acordo com a quantidade de materiais retidos e passados nos peneiros nº 4, nº 10 e nº 200. Para os solos finos, é necessário projetar os valores obtidos através dos limites de consistência na Carta de Plasticidade de Casagrande.

**Tabela 1.** Classificação Unificada de Solos - ASTM D 2487-85 (Fernandes, 1994).

Critérios para designação dos símbolos e nome				Classificação do solo	
dos grupos utilizando ensaios de laboratório (a)				Símbolo do grupo	Nome do grupo (b)
SOLOS GROSSOS mais de 50% retido no peneiro nº 200	Cascalho mais de 50% da fracção grossa retida no peneiro nº 4	Cascalhos limpos (c)	$C_U \geq 4$ e $1 \leq C_C \leq 3$ (e)	GW	Cascalho bem graduado (f)
		Menos de 5% de finos	$C_U < 4$ e/ou $1 > C_C > 3$ (e)	GP	Cascalho mal graduado (f)
		Cascalhos com finos (c)	Finos classificados como ML ou MH	GM	Cascalho siltoso (f), (g), (h)
		Mais de 12% de finos	Finos classificados como CL ou CH	GC	Cascalho argiloso (f), (g), (h)
	Areias 50% ou mais da fracção grossa passa no peneiro nº 4	Areias limpas (d)	$C_U \geq 6$ e $1 \leq C_C \leq 3$ (e)	SW	Areia bem graduada (i)
		Menos de 5% de finos	$C_U < 6$ e/ou $1 > C_C > 3$ (e)	SP	Areia mal graduada (i)
		Areias com finos (d)	Finos classificados como ML ou MH	SM	Areia siltosa (g), (h), (i)
		Mais de 12% de finos	Finos classificados como CL ou CH	SC	Areia argilosa (g), (h), (i)

**Tabela 2.** Classificação Unificada de Solos - ASTM D 2487-85 (Fernandes, 1994) (continuação).

SOLOS FINOS 50% ou mais passado no peneiro nº 200	Siltes e Argilas $w_L < 50\%$	Inorgânico	$I_p > 7$ e situa-se na linha A ou acima desta (j)	CL	Argila magra (k), (l), (m)
			$I_p < 4$ ou situa-se abaixo da linha A (j)	ML	Silte (k), (l), (m)
		Orgânico	$\frac{w_L(\text{seco em estufa})}{w_L(\text{sem secagem})} < 0,75$	OL	Argila orgânica (k), (l), (m), (n) Silte orgânico (k), (l), (m), (o)
	Siltes e Argilas $w_L \geq 50\%$	Inorgânico	$I_p$ situa-se na linha A ou acima desta	CH	Argila gorda (k), (l), (m)
			$I_p$ situa-se abaixo da linha A	MH	Silte elástico (k), (l), (m)
		Orgânico	$\frac{w_L(\text{seco em estufa})}{w_L(\text{sem secagem})} < 0,75$	OH	Argila orgânica (k), (l), (m), (p) Silte orgânico (k), (l), (m), (q)
Solos altamente orgânicos, principalmente matéria orgânica, cor escura e odor orgânico				Pt	Turfa

(a) Baseado no material passado no peneiro 3" (75mm)

(b) Se a amostra virgem tiver blocos e/ou calhaus junte "com blocos e/ou calhaus" ao nome do grupo

(c) Cascalho com 5% a 12% de finos precisa de dois símbolos  
GW - GM Cascalho bem graduado com silte  
GW - GC Cascalho bem graduado com argila  
GP - GM Cascalho mal graduado com silte  
GP - GC Cascalho mal graduado com argila

(d) Areia com 5% a 12% de finos precisa de dois símbolos  
SW - SM Areia bem graduada com silte  
SW - SC Areia bem graduada com argila  
SP - SM Areia mal graduada com silte  
SP - SC Areia mal graduada com argila

(e)  $C_U = D_{60} / D_{10}$ ;  $C_C = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$

(f) Se o solo contém  $\geq 15\%$  de areia, junte "com areia" ao nome do grupo

(g) Se os finos se classificam como CL-ML, use dois símbolos: GC-GM, SC-SM

(h) Se os finos são orgânicos, junte "com finos orgânicos" ao nome do grupo

(i) Se o solo contém  $\geq 15\%$  de cascalho, junte "com cascalho" ao nome do grupo

(j) Se os limites de Atterberg se situam na zona sombreada da carta de plasticidade, o solo é um CL-ML, argila siltosa

(k) Se o solo contém 15 a 30% retido no peneiro nº 200, junte "com areia" ou "com cascalho" conforme o predominante

(l) Se o solo contém  $\geq 30\%$  retido no peneiro nº 200, predominantemente arenoso, junte "arenoso" ao nome do grupo

(m) Se o solo contém  $\geq 30\%$  retido no peneiro nº 200, predominantemente cascalho, junte "cascalhento" ao nome do grupo

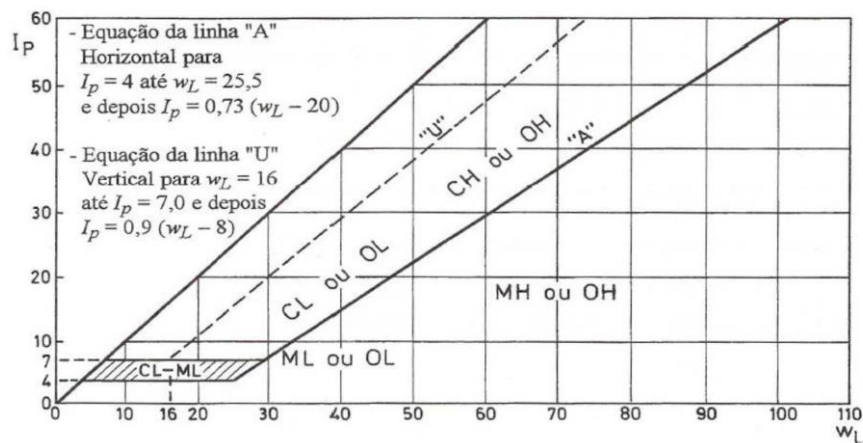
(n)  $I_p \geq 4$  e situa-se na linha A ou acima desta

(o)  $I_p < 4$  ou situa-se abaixo da linha A

(p)  $I_p$  situa-se na linha A ou acima desta

(q)  $I_p$  situa-se abaixo da linha A

A Carta de Plasticidade de Casagrande (Figura 2) relaciona o Índice de Plasticidade e o limite de liquidez de um solo. A Linha U corresponde a resultados irrealistas, neste caso, o ensaio deverá ser repetido.



**Figura 2.** Carta de Plasticidade de Casagrande (Fernandes, 1994).

Através do SUCS é possível identificar quais os solos que poderão apresentar as características necessárias para determinada obra ou aplicação. Fernandes (1994) apresenta uma tabela (Tabela 3) onde resume algumas das propriedades importantes dos solos após a compactação em aterros a partir dos grupos da Classificação Unificada.

**Tabela 3.** Adequabilidade dos grupos da Classificação Unificada (modificada de Fernandes, 1994).

SÍMBOL O DO GRUPO	PROPRIEDADES IMPORTANTES			
	PERMEABILIDADE QUANDO COMPACTADO	RESISTÊNCIA AO CORTE QUANDO COMPACTADO E SATURADO	COMPRESSIBILIDADE QUANDO COMPACTADO E SATURADO	TRABALHABILIDADE COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO
GW	Permeável	Excelente	Desprezável	Excelente
GP	Muito permeável	Boa	Desprezável	Boa
GM	Semipermeável a impermeável	Boa	Desprezável	Boa
GC	Impermeável	Boa a razoável	Muito Baixa	Boa
SW	Permeável	Excelente	Desprezável	Excelente
SP	Permeável	Boa	Muito Baixa	Razoável
SM	Semipermeável a impermeável	Boa	Baixa	Razoável
SC	Impermeável	Boa a razoável	Baixa	Boa
ML	Semipermeável a impermeável	Razoável	Média	Razoável
CL	Impermeável	Razoável	Média	Boa a razoável
OL	Semipermeável a impermeável	Fraca	Média	Razoável
MH	Semipermeável a impermeável	Razoável	Alta	Fraca
CH	Impermeável	Fraca	Alta	Fraca
OH	Impermeável	Fraca	Alta	Fraca
Pt	-	-	-	-

1.1.2.3 Sistema de Classificação Para Fins Rodoviários

O Sistema de Classificação Para Fins Rodoviários (HRB - *Highway Research Board*) é utilizado na engenharia rodoviária em todo o mundo com o objetivo de analisar

materiais para a base e sub-base de pavimentos. Foi proposto pelo *Bureau of Public Roads*, revisto pelo HRB (1945) e normalizado pela AASHTO M145 (1973). A norma utilizada como referência é a LNEC E 240-1970.

Este sistema classifica os solos em oito grupos, sendo três deles solos granulares (A-1, A-2 e A-3), quatro grupos de solos finos (A-4, A-5, A-6 e A-7) e um grupo de solos orgânicos (A-8). Esta classificação baseia-se na granulometria, no limite de liquidez e no índice de plasticidade dos solos. A classificação é feita através da Tabela 4 e do Índice de Grupo.

**Tabela 4.** Classificação Para Fins Rodoviários HRB (LNEC E 240-1970).

Tipos de Solos	Materiais granulares [35% ou menos passando no peneiro de 0.075 mm (nº 200) ASTM]							Materiais silto-argilosos [mais de 35% passando no peneiro de 0.075 mm (nº 200) ASTM]			
Grupos e subgrupos	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 <sup>(1)</sup>
	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				A - 7 - 5 A - 7 - 6
Granulometria - % passando nos peneiros ASTM:  2.00 mm (nº 10) 0.425 mm (nº 40) 0.075 mm (nº 200)	50 máx 30 máx 15 máx	- 50 máx 25 máx	51 mín 10 máx	- 35 máx	- 35 máx	- 35 máx	- 35 máx	- 36 mín	- 36 mín	- 36 mín	- 36 mín
Características da fracção passando no peneiro de 0.425 mm (nº 40) ASTM:  Limite de liquidez Índice de plasticidade	- 6 máx		- não plástico	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín 11 mín	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín 11 mín
Tipos usuais dos constituintes significativos dos materiais	fragmentos de pedra, cascalho e areia		areia fina	cascalho e areia siltosos ou argilosos				solos siltosos		solos argilosos	
Comportamento na camada sob o pavimento	excelente a bom							regular a muito mau			

O Índice de Grupo (IG) foi deduzido a partir de observações do comportamento de solos em estradas e é calculado através da fórmula abaixo. O IG varia de 0 a 20. Quanto mais próximo for o IG de 0 maior sua capacidade de suporte, e quanto mais próximo de 20 pior sua capacidade de suporte.

$$IG = 0,2a + 0,005ac + 0,01bd$$

Onde:

a - Diferença entre o valor da percentagem de material que passa no peneiro 0,074mm (nº 200) ASTM e 35; adotar-se-á a=40 se aquela percentagem for maior que 75 e a=0 se for menor que 35.

b - Diferença entre o valor da percentagem do material que passa no peneiro 0,074mm (nº 200) ASTM e 15; adotar-se-á b=40 se aquela percentagem for maior que 55 e b=0 se for menor que 15.

c – Diferença entre o valor do limite de liquidez e 40; porém, adotar-se-á  $c=20$  se aquele limite for maior que 60 e  $c=0$  se for menor que 40.

d – Diferença entre o valor do Índice de Plasticidade e 10; porém, adotar-se-á  $d=20$  se aquele índice for maior que 30 e  $d=0$  se for menor que 10.

### 1.1.3 PROJETOS DE ATERROS PARA INFRAESTRUTURAS LINEARES

Infraestruturas lineares correspondem a rodovias e ferrovias. Estas são de extrema importância para o desenvolvimento socioeconómico de qualquer país. As rodovias e ferrovias conectam pessoas, transportam mercadorias, facilitam a vida dos seres humanos. De acordo com a Infraestruturas de Portugal, em Portugal existem atualmente 17.874 km de rodovias e 2.562 km de ferrovias (Infraestruturas de Portugal).

A construção destas infraestruturas lineares corresponde a uma junção de estruturas que sustentam as estradas pelas quais os meios de transporte passam. Estas estruturas podem ser construídas por materiais soltos, sujeitos a compactação, a fim de se obter um produto resistente e pouco deformável (Vallejo, 2002). De acordo com Vallejo (2002), os aterros são compostos por camadas de solos compactadas sucessivamente, com tamanhos máximos normalmente inferiores a 100-150mm e com baixo teor em finos.

Um projeto de estruturas terrestres deve considerar vários aspetos, são citados abaixo algumas das etapas importantes para projetos de estruturas terrestres descritas por Vallejo (2002).

- Conhecer os tipos de materiais existentes na área, localização e volume, informação geológica, geotécnica e topográfica adequada;
- Ajustar, tanto quanto possível, os materiais disponíveis e os requisitos das especificações técnicas. Isso pode levar a alguns materiais não serem aceitos;
- Estabelecer dispositivos de drenagem internos e externos adequadamente;
- Estabelecer critérios de compactação apropriados para obter um produto com deformabilidade mínima e durabilidade aceitável.



## 2. CASO DE ESTUDO

O presente capítulo é dedicado a caracterização de seis diferentes solos para possível utilização na reabilitação e modernização de um troço da Linha do Minho, compreendido desde Viana do Castelo até a estação fronteiriça de Valença.

### 2.1 ENQUADRAMENTO DA OBRA

O troço da Linha do Minho entre Porto e Valença começou a ser construído no início da década de 1870 (Pereira, 2011). A Linha do Minho faz parte de uma ligação transfronteiriça de carácter estratégico para o país, em particular para a região norte de Portugal, já que serve de suporte aos movimentos de mercadorias e passageiros que apresentam como destino a Espanha.

O caso de estudo compreende uma parte do troço entre Viana do Castelo e Valença, com cerca de 48 km (Figura 3). Nesta área serão construídas novas subestações, intervenções em túneis e pontes, instalação de sistemas de telecomunicações, bem como a construção de uma segunda via para permitir o cruzamento de comboios e a construção de uma estação técnica.

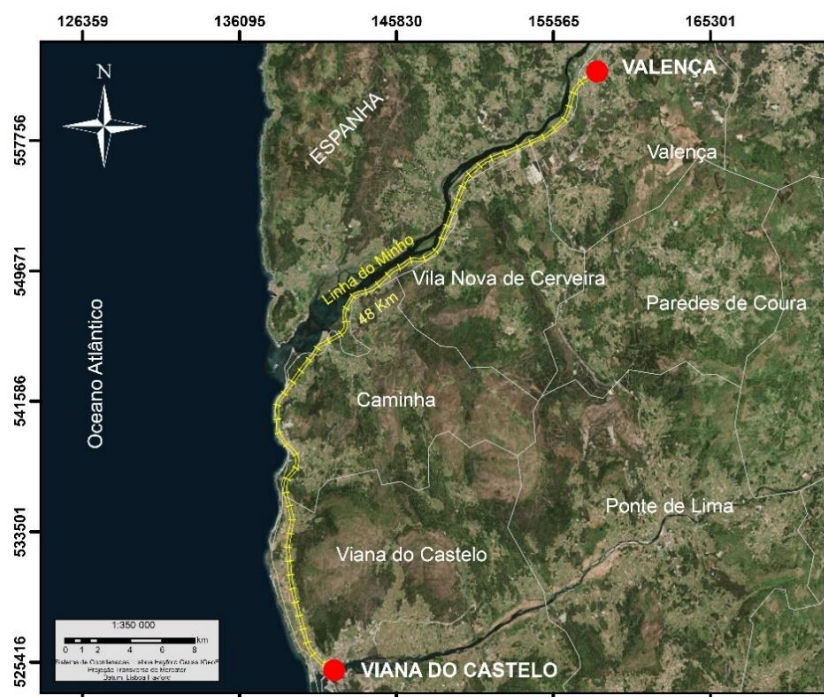


Figura 3. Mapa de localização do troço Viana do Castelo - Valença na linha do Minho.

A construtora da ferrovia selecionou 6 amostras, provenientes de manchas de empréstimo para recolha e caracterização dos solos, para possível utilização em obra. Todas as manchas localizam-se no norte de Portugal, no Distrito de Viana do Castelo, sendo uma pertencente ao Concelho de Vila Nova de Cerveira, quatro ao Concelho de Viana do Castelo e uma ao Concelho de Ponte de Lima (Figura 4). O principal acesso até as manchas de empréstimo, partindo do Porto, dá-se através da autoestrada A28.

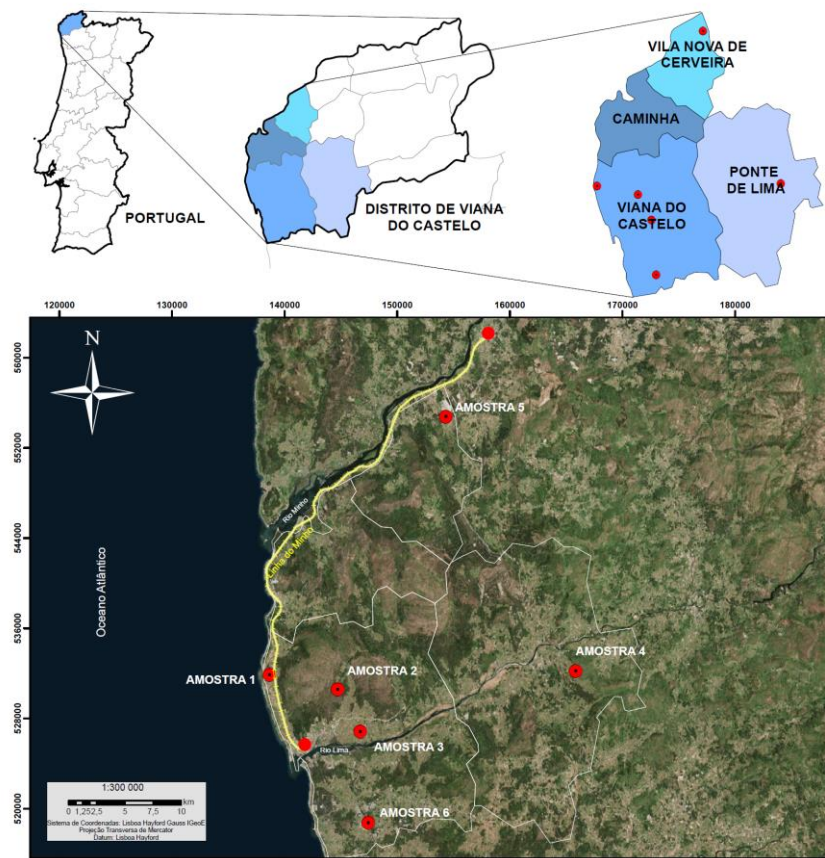


Figura 4. Mapa de localização das manchas de empréstimo.

## 2.2 ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO DAS MANCHAS DE EMPRÉSTIMO

As manchas de empréstimo estão situadas na Região de Entre-Douro e Minho. Esta região engloba os distritos de Viana do Castelo, Braga, Porto e a parte setentrional do distrito de Aveiro.

A região está enquadrada na Zona Centro Ibérica (ZCI) do Maciço Hespérico com uma larga dominância de granitóides hercínicos e metassedimentos paleozóicos (Ribeiro *et al.*, 1979). Ao longo de toda a costa ocorrem formações sedimentares que

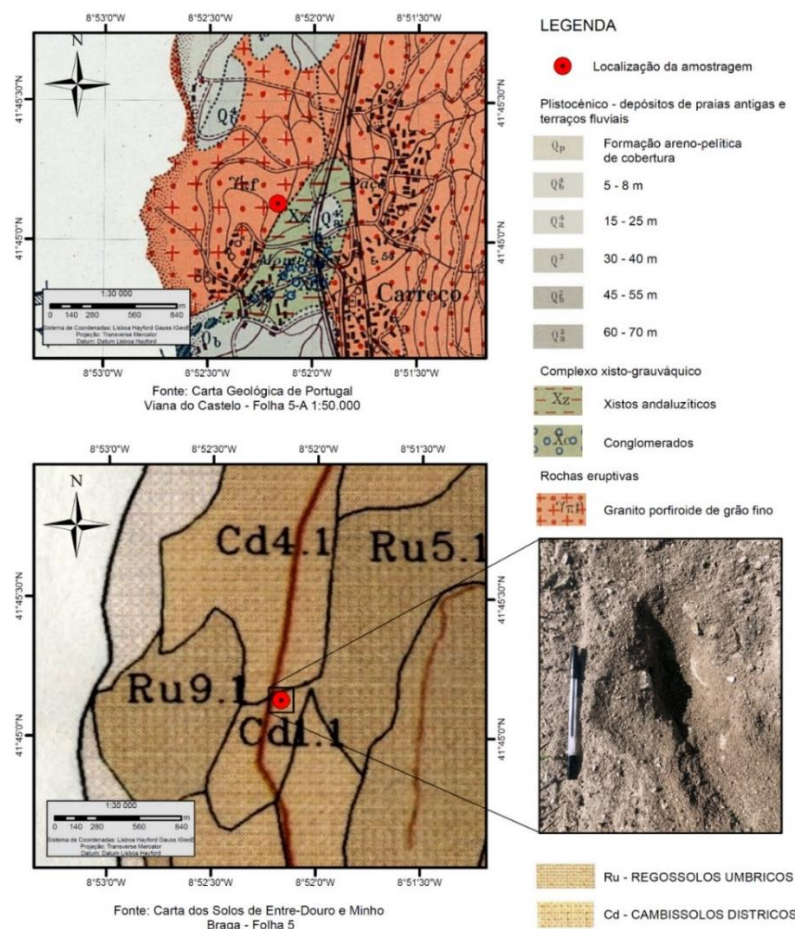
correspondem a praias antigas, e também terraços fluviais margeiam o troço jusante dos rios Minho, Lima e Cávado.

As manchas de empréstimo e posteriormente as amostras foram numeradas da seguinte forma: mancha de empréstimo 1 (amostra 1), mancha de empréstimo 2 (amostra 2), mancha de empréstimo 3 (amostra 3), mancha de empréstimo 4 (amostra 4), mancha de empréstimo 5 (amostra 5) e mancha de empréstimo 6 (amostra 6).

## 2.2.1 MANCHA DE EMPRÉSTIMO 1

De acordo com a folha 5-A da carta geológica de Portugal (Teixeira *et al.*, 1970) a mancha de empréstimo 1, localiza-se próximo a uma zona de contato entre o complexo xisto-grauvácico e rochas eruptivas (Figura 5).

Em seus aspetos pedológicos, através da carta dos solos de Entre-Douro e Minho (Folha 5 – Braga 1:100.000 (DRAEDM-1995)) identificou-se que a mancha de empréstimo está situada em uma área com predominância de cambissolos dístricos, e é composta por cambissolo dístrico crómico.



**Figura 5.** Mapa geológico e pedológico da mancha de empréstimo 1. Imagem do solo *in situ* obtida em 06/04/2019.



## 2.2.2 MANCHA DE EMPRÉSTIMO 2

A mancha de empréstimo 2 situa-se em uma zona de granitos de grão grosseiro ou médio a grosseiro e está próxima de uma zona de contato com rochas silúricas metamorizadas. Está representada na folha 5-A da carta geológica de Portugal (Teixeira *et al.*, 1970).

Pedologicamente, de acordo com a carta de solos (Folha 5 – Braga 1:100.000 – (DRAEDM, 1995)), o solo corresponde a um regossolo úmbrico espesso desenvolvido a partir da arenização profunda de granitos, normalmente associado a afloramentos rochosos (Figura 6).

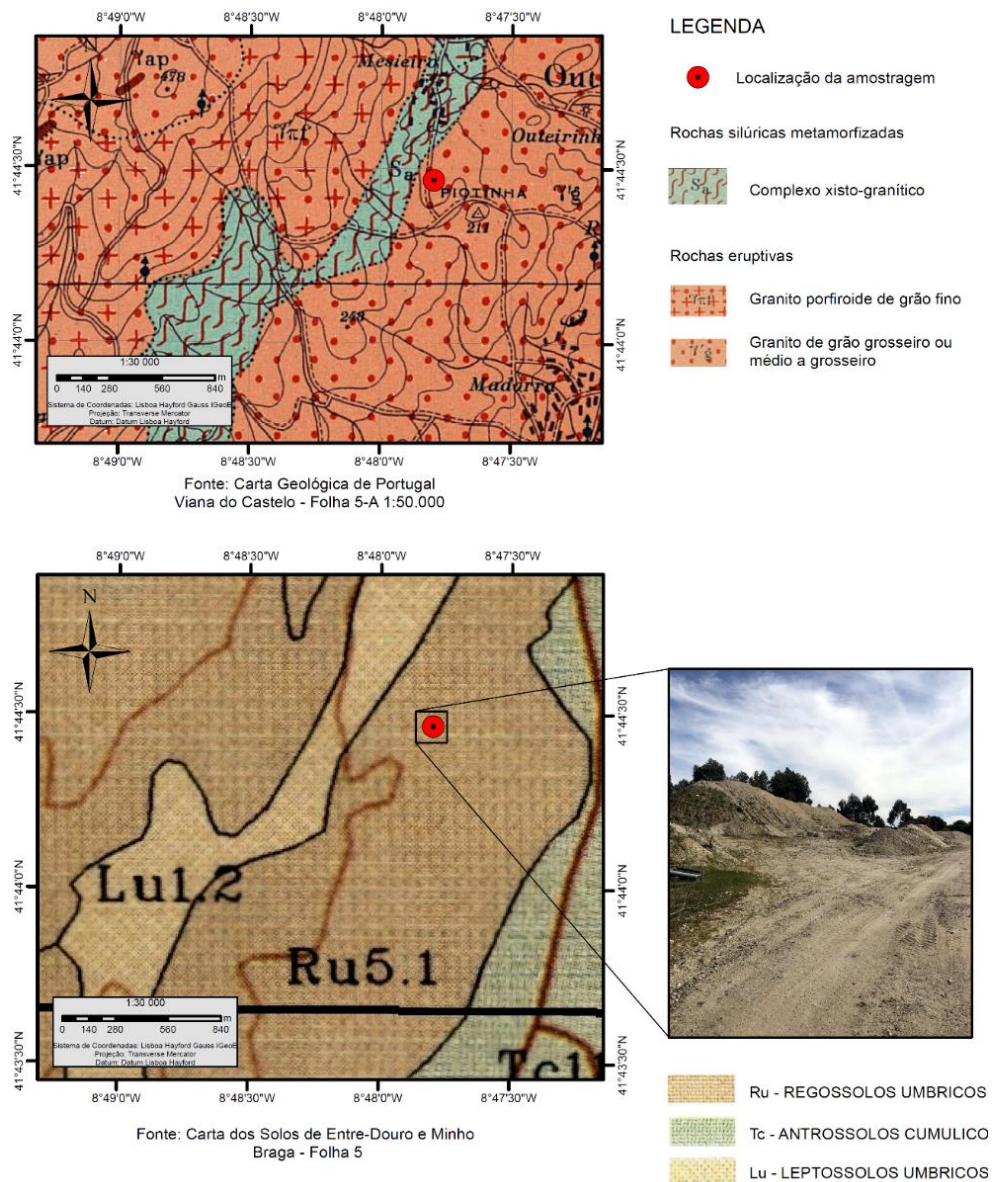


Figura 6. Mapa geológico e pedológico da mancha de empréstimo 2. Imagem obtida em 06/04/2019.

### 2.2.3 MANCHA DE EMPRÉSTIMO 3

Segundo a carta geológica de Portugal - folha 5-A (Teixeira *et al.*, 1970), a mancha de empréstimo 3 está localizada sobre granitos de grão grosseiro ou médio a grosseiro. Assim como as outras manchas de empréstimo já citadas, também se encontra próximo do complexo xisto-granítico (Figura 7).

O solo desta mancha de empréstimo é descrito segundo a carta de solos (Folha 5 – Braga 1:100.000 – DRAEDM (1995)) como antrossolo cumúlico dístrico em xisto, onde predomina a acumulação de sedimentos com textura franco-arenosa ou mais fina e por vezes franco-limoso.

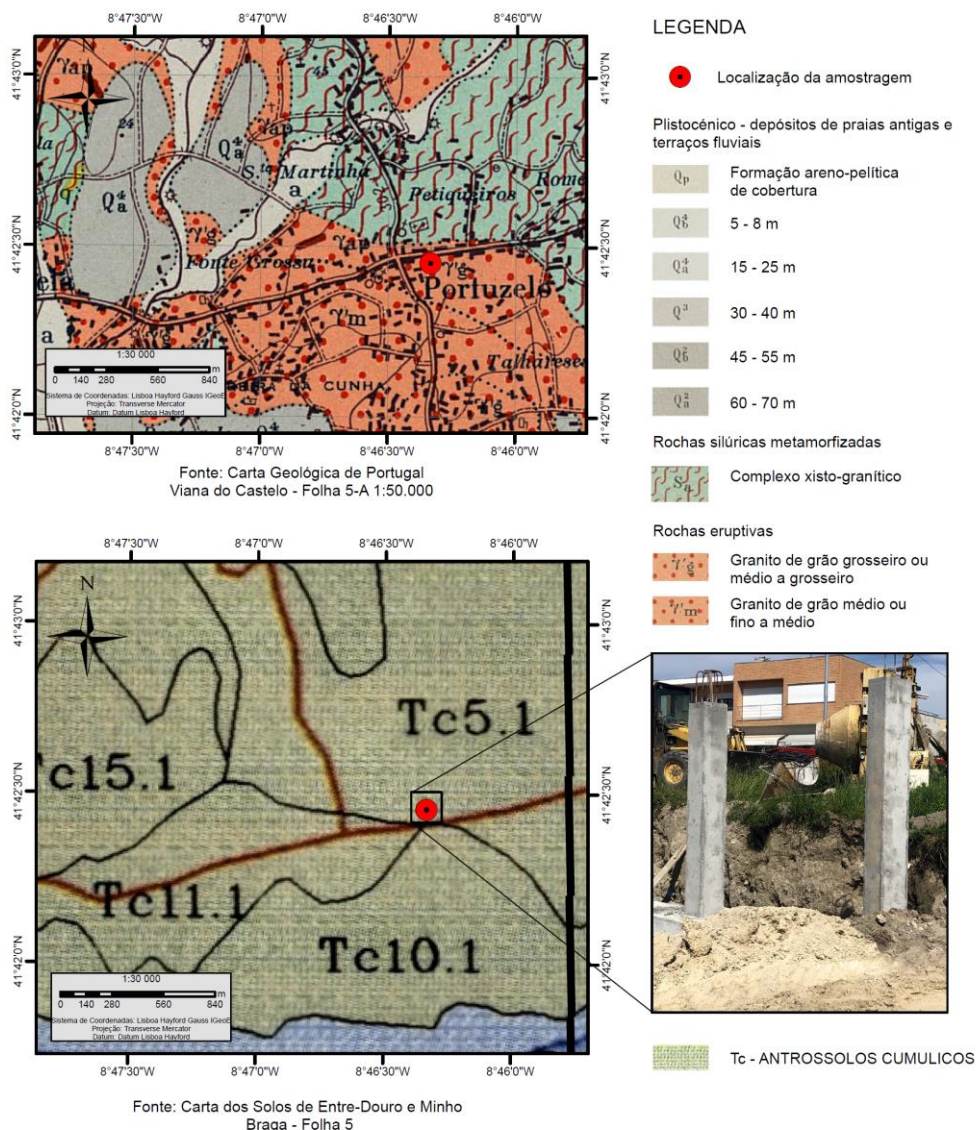


Figura 7. Mapa geológico e pedológico da mancha de empréstimo 3. Imagem obtida em 06/04/2019.



## 2.2.4 MANCHA DE EMPRÉSTIMO 4

A mancha de empréstimo 4 apresenta semelhança de características com a mancha de empréstimo 2. Está localizada sobre granitos porfíroides de grão grosseiro ou médio a grosseiro. Localiza-se na Folha 5-A (Teixeira *et al.*, 1970).

Em uma caracterização pedológica, de acordo com a carta de solos (Folha 5 – Braga 1:100.000 (DRAEDM, 1995), o solo é definido como regossolo úmbrico espesso, em regolitos de granitos (Figura 8).

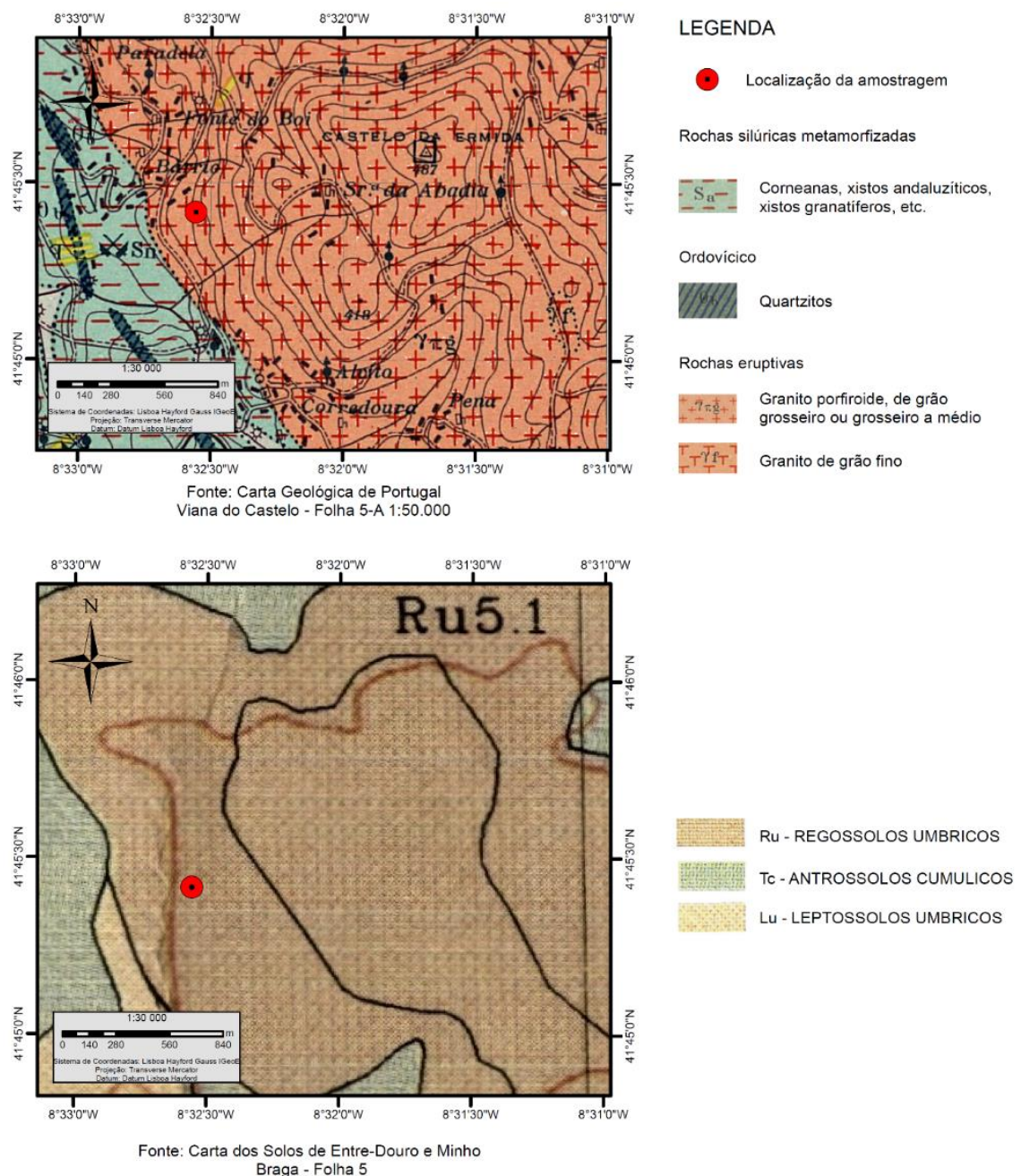


Figura 8. Mapa geológico e pedológico da mancha de empréstimo 4.

## 2.2.5 MANCHA DE EMPRÉSTIMO 5

Consoante a carta geológica de Portugal – folha 1-C – Caminha (Teixeira e Assunção, 1961), a mancha de empréstimo está localizada em depósitos de praias antigas e terraços fluviais de 60-70 metros.

A carta de solos (Folha 1-2 – Valença 1:100.000 (DRAEDM, 1995)) define a área como cambissolos húmicos-úmbricos crómicos, em sedimentos detríticos não consolidados, com horizontes normalmente cascalhentos ou muito cascalhentos (Figura 9).

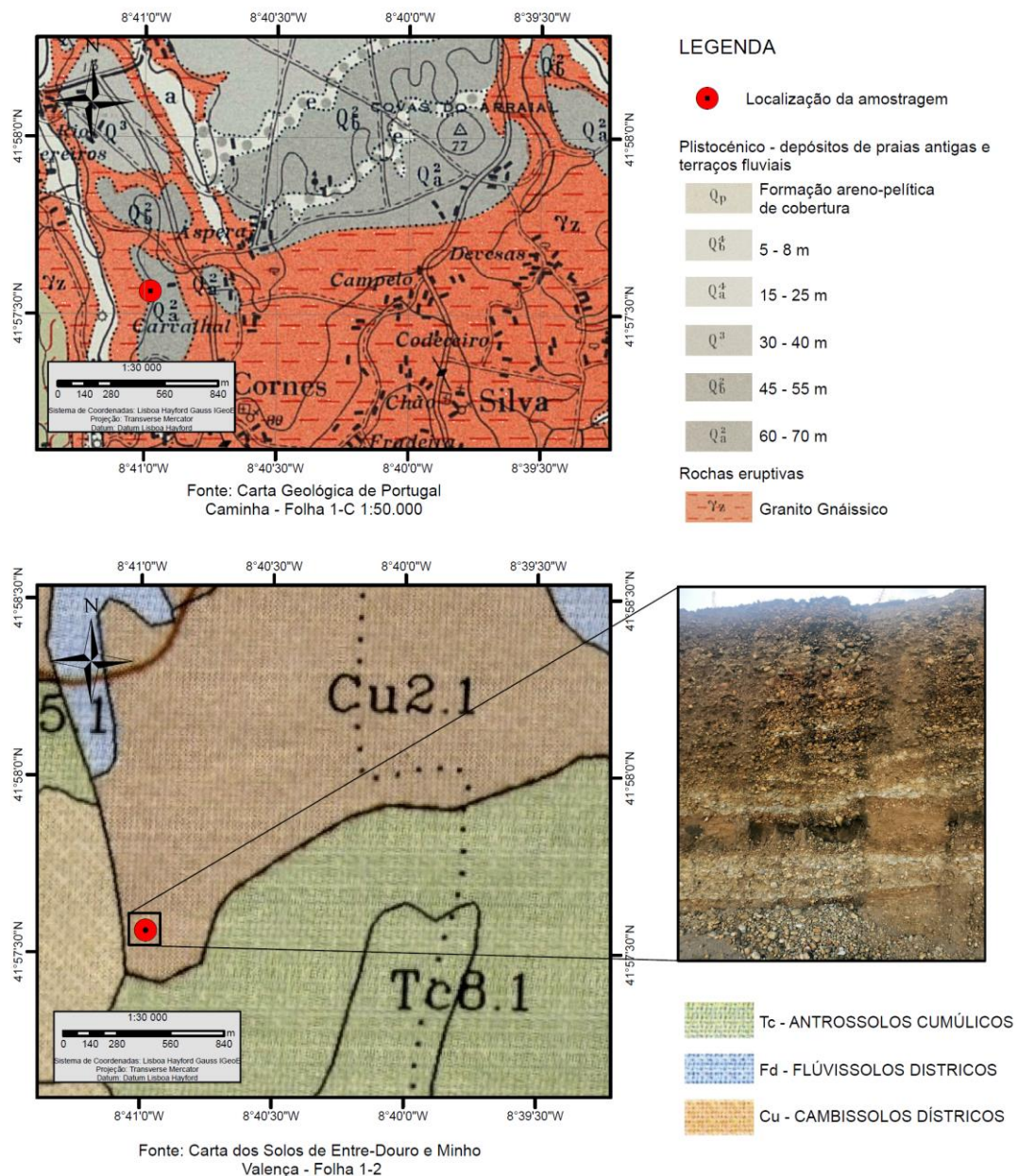


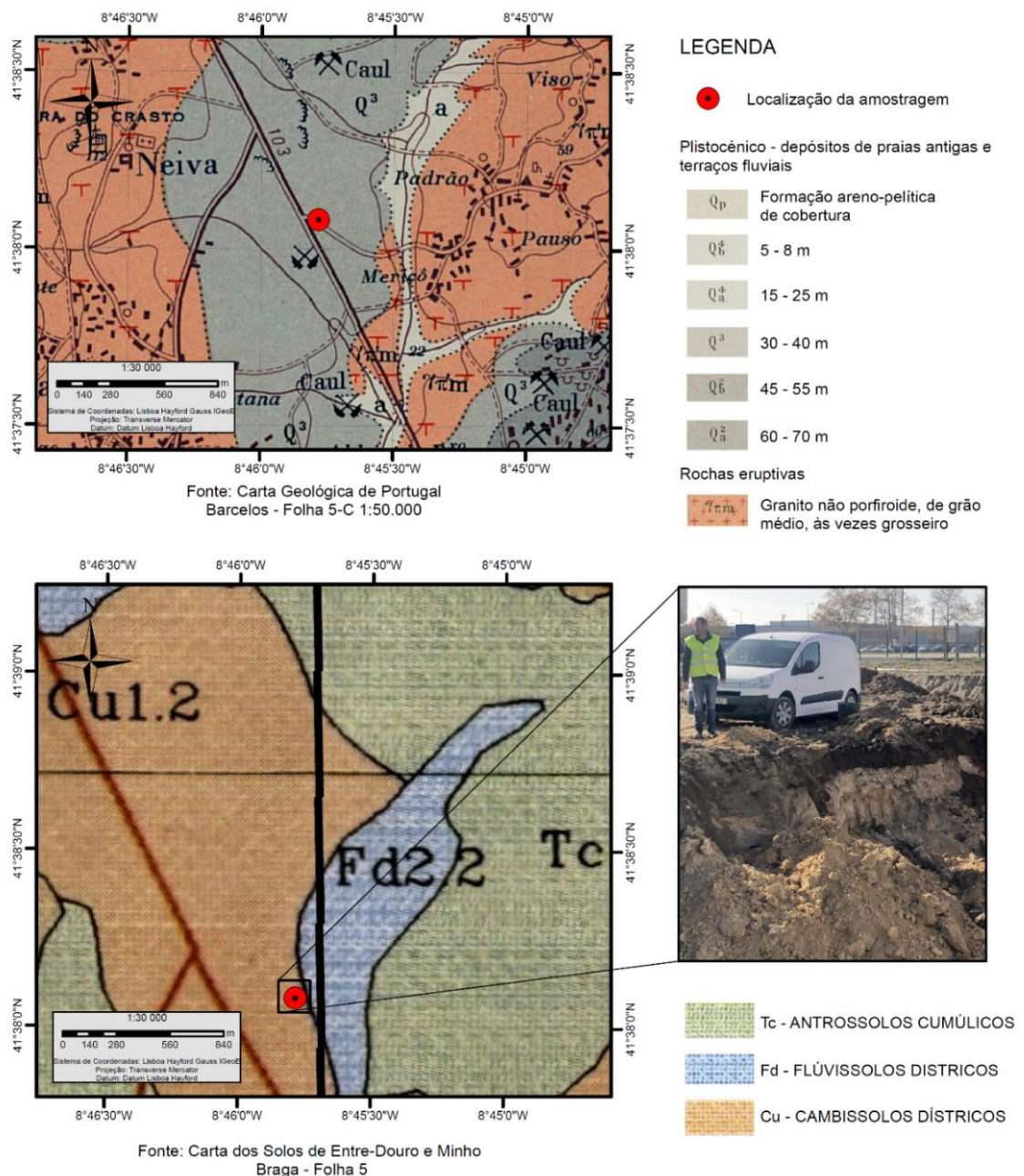
Figura 9. Mapa geológico e pedológico da mancha de empréstimo 5. Imagem obtida em 08/11/2018.



## 2.2.6 MANCHA DE EMPRÉSTIMO 6

De acordo com a Carta Geológica de Portugal – Folha 5-C – Barcelos (Teixeira e Assunção, 1961), a mancha de empréstimo está situada em depósitos de praias antigas e depósitos fluviais de 30-40 metros.

Segundo a carta de solos (Folha 5 – Braga 1:100.000 (DRAEDM, 1995)), o local da mancha de empréstimo corresponde a cambissolos húmico-úmbrico pardacento, descrito como coluvião de materiais de granito (Figura 10).



**Figura 10.** Mapa geológico e pedológico da mancha de empréstimo 6. Imagem obtida em 08/11/2018.



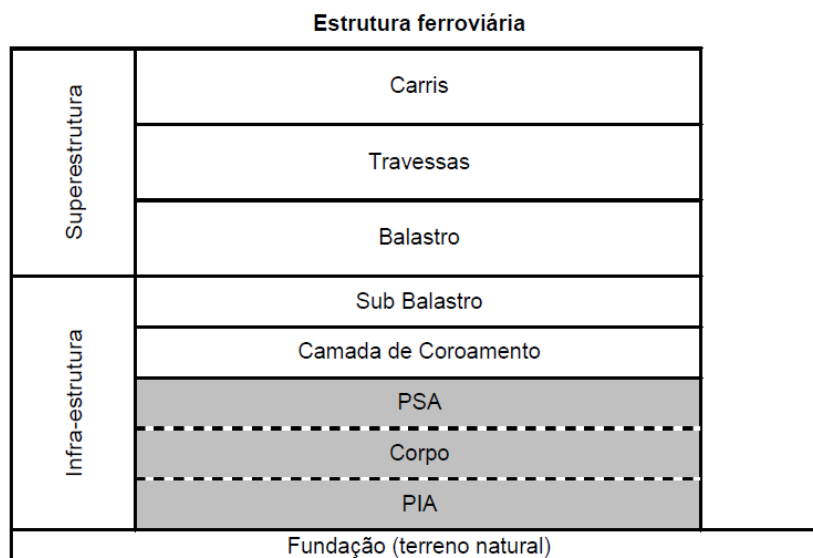
## 2.3 ESPECIFICAÇÕES DO CADERNO DE ENCARGOS

O caderno de encargos é uma referência de condições técnicas que devem ser cumpridas durante a conceção e execução de uma obra. O projeto de terraplenagem, drenagem e estabilização da Linha do Minho para o Troço Viana do Castelo/Valença prevê uma série destas condições. Neste subcapítulo serão citadas as condições necessárias para a caracterização geotécnica/geológica dos solos que irão ser utilizados nos aterros.

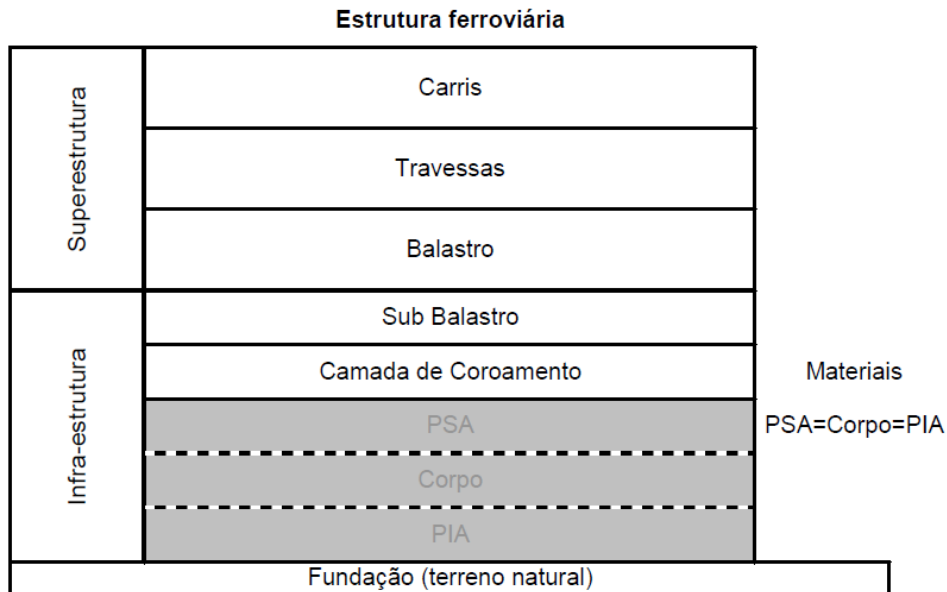
### 2.3.1 CONSTITUIÇÃO DOS ATERROS

De acordo com o caderno de encargos da obra, a estrutura ferroviária é subdividida em duas partes, a infraestrutura e a superestrutura (Caderno de Encargos, 2017). A superestrutura compreende o balastro, travessas e carris. A infraestrutura é composta pela parte inferior do aterro (PIA), corpo, parte superior do aterro (PSA), camada de coroamento e sub balastro.

Em conjunto, a PIA, o corpo e a PSA dão origem ao aterro, podendo ser divididos em aterros zonados ou homogêneos. Os aterros zonados são aqueles em que o material constituinte apresenta heterogeneidade e não apresenta uniformidade de características mecânicas e hidráulicas (Figura 11). Por outro lado, os aterros homogêneos apresentam uniformidade e homogeneidade das características, podendo ser considerado como apenas um material (Figura 12).



**Figura 11.** Estrutura ferroviária com um aterro zonado (Caderno de Encargos, 2017).



**Figura 12.** Estrutura ferroviária com um aterro homogéneo (Caderno de Encargos, 2017).

### 2.3.1.1 Solos para o Aterro

Os solos são definidos, segundo o caderno de encargos, como sendo materiais constituídos por grãos desagregáveis por uma simples trituração e, eventualmente, com auxílio de água (Caderno de Encargos, 2017). O teor de matéria orgânica deve ser inferior a 2%. Os que serão utilizados devem estar isentos de ramos, folhas, troncos, raízes, torrões, lixos e quaisquer detritos orgânicos. O material retido no peneiro 19 mm (3/4" ASTM) deverá ser menor ou igual a 30%, com dimensão máxima de 50,8 mm (2" ASTM) e o material retido no peneiro 4,76 mm deverá ser menor ou igual a 80%.

A sua utilização na construção de aterros, no seu estado natural, exige que sejam observadas as condições relativas ao teor em água apresentadas na Tabela 5.

**Tabela 5.** Solos coerentes e incoerentes.

<b>SOLOS INCOERENTES</b>
Ensaio de compactação de referência com energia pesada
$0,8\% W_{opt} \leq W_{nat} \leq 1,2\% W_{opt}$
<b>SOLOS COERENTES</b>
Ensaio de compactação de referência com energia leve
$0,7\% W_{opt} \leq W_{nat} \leq 1,4\% W_{opt}$
<small><math>W_{nat}</math> = teor em água natural do solo; <math>W_{opt}</math> = teor em água natural do solo.</small>

Quando não se verifique este requisito para o caso de solos coerentes, poder-se-á recorrer a técnicas de regularização do teor em água, tais como arejamento, humidificação, homogeneização e tratamento por adição de ligantes.

No caso de aterros zonados ou homogéneos, a utilização dos diversos tipos de solos nas diversas zonas do aterro deve obedecer a regras gerais expressas nas tabelas seguintes, baseadas no valor de CBR e na classificação unificada dos solos.

No caso de solos selecionados para a construção dos aterros, estes deverão ter comportamento granular, percentagem de finos  $\leq 15\%$  e índice de plasticidade  $IP \leq 6$ , devendo garantir um módulo de deformabilidade de  $E_v \geq 60$  Mpa, após compactação.

As possibilidades de aplicação dos solos em aterros zonado ou heterogéneo são definidas em diferentes classes, de acordo com a classificação dos mesmos (Tabela 6 e a Tabela 7).

**Tabela 6.** Classificação de solos e aplicabilidade em aterros zonados (Caderno de Encargos, 2017).

Classe	CBR (%)	Tipo de solo	Descrição	PIA	Corpo	PSA
<b>S 0</b>	< 3	OL	Siltes orgânicos e siltes argilosos orgânicos de baixa plasticidade (1)	N	N	N
		OH	argilas orgânicas de plasticidade média a elevada; siltes orgânicos. (2)	N	N	N
		CH	argilas inorgânicas de plasticidade elevada; argilas gordas. (3)	N	N	N
		MH	Siltes inorgânicos; areias finas micáceas; siltes micáceos. (4)	N	N	N
<b>S 1</b>	$\geq 3$ a < 5	OL	Idem (1)	N	P	N
		OH	Idem (2)	N	P	N
		CH	Idem (3)	N	P	N
		MH	Idem (4)	N	P	N
<b>S 2</b>	$\geq 5$ a < 10	CH	idem (3)	N	S	N
		MH	idem (4)	N	S	N
		CL	argilas inorgânicas de plasticidade baixa a média argilas com seixo, argilas arenosas, argilas siltosas e argilas magras.	S	S	P
		ML	siltes inorgânicos e areias muito finas; areias finas, siltosas ou argilosas; siltes argilosos de baixa plasticidade.	S	S	P
		SC	areia argilosa; areia argilosa com cascalho. (5)	S	S	P
<b>S 3</b>	$\geq 10$ a < 20	SC	idem (5)	S	S	S
		SM d SM u	areia siltosa; areia siltosa.	S P	S S	S N
		SP	areias mal graduadas; areias mal graduadas com cascalho.	S	S	S
<b>S 4</b>	$\geq 20$ a < 40	SW	areias bem graduadas; areias bem graduadas com cascalho.	S	S	S
		GC	cascalho argiloso; cascalho argiloso com areia.	S	S	S
		GM-u	cascalho siltoso; cascalho siltoso com areia. (6)	P	S	P
		GP	cascalho mal graduado; cascalho mal graduado com areia. (7)	S	S	S
<b>S 5</b>	$\geq 40$	GM-d	idem (6)	S	S	S
		GP	idem (7)	S	S	S
		GW	cascalho bem graduado; cascalho bem graduado com areia.	S	S	S

S - admissível; N - não admissível ; P-possível/ PIA - parte inferior do aterro /PSA- parte superior do aterro

**Tabela 7.** Classificação de solos e aplicabilidade em aterros homogéneos (Caderno de Encargos, 2017).

Classe	CBR (%)	Tipo de solo	Descrição	Altura	
				<5	≥5
S0	< 3	OL	Siltes orgânicos e siltes argilosos orgânicos de baixa plasticidade (1)	N	N
		OH	argilas orgânicas de plasticidade média a elevada; siltes orgânicos. (2)	N	N
		CH	argilas inorgânicas de plasticidade elevada; argilas gordas. (3)	N	N
		MH	Siltes inorgânicos; areias finas micáceas; siltes micáceos. (4)	N	N
S1	≥ 3 a < 5	OL	Idem (1)	N	N
		OH	Idem (2)	N	N
		CH	Idem (3)	N	N
		MH	Idem (4)	N	N
S2	≥ 5 a < 10	CH	idem (3)	N	N
		MH	idem (4)	N	N
		CL	argilas inorgânicas de plasticidade baixa a média argilas com seixo, argilas arenosas, argilas siltosas e argilas magras.	P	P
		ML	siltes inorgânicos e areias muito finas; areias finas, siltosas ou argilosas; siltes argilosos de baixa plasticidade.	P	P
		SC	areia argilosa; areia argilosa com cascalho. (5)	S	P
		SC	idem (5)	S	S
S3	≥ 10 a < 20	SM d SM u	areia siltosa; areia siltosa.	S N	S N
		SP	areias mal graduadas; areias mal graduadas com cascalho.	S	S
		SW	areias bem graduadas; areias bem graduadas com cascalho.	S	S
S4	≥ 20 a < 40	GC	cascalho argiloso; cascalho argiloso com areia.	S	S
		GM-u	cascalho siltoso; cascalho siltoso com areia. (6)	P	P
		GP	cascalho mal graduado; cascalho mal graduado com areia. (7)	S	S
		GM-d	idem (6)	S	S
S5	≥ 40	GP	idem (7)	S	S
		GW	cascalho bem graduado; cascalho bem graduado com areia.	S	S

## 2.3.2 CONSTITUIÇÃO DOS BLOCOS TÉCNICOS

Segundo o Caderno de Encargos, os Blocos Técnicos, designados também como Aterros Técnicos, são as estruturas que permitem assegurar a transição entre os aterros e as obras de arte, de modo a reduzir os assentamentos diferenciais, e a assegurar a variação progressiva do módulo de rigidez entre estas duas estruturas.

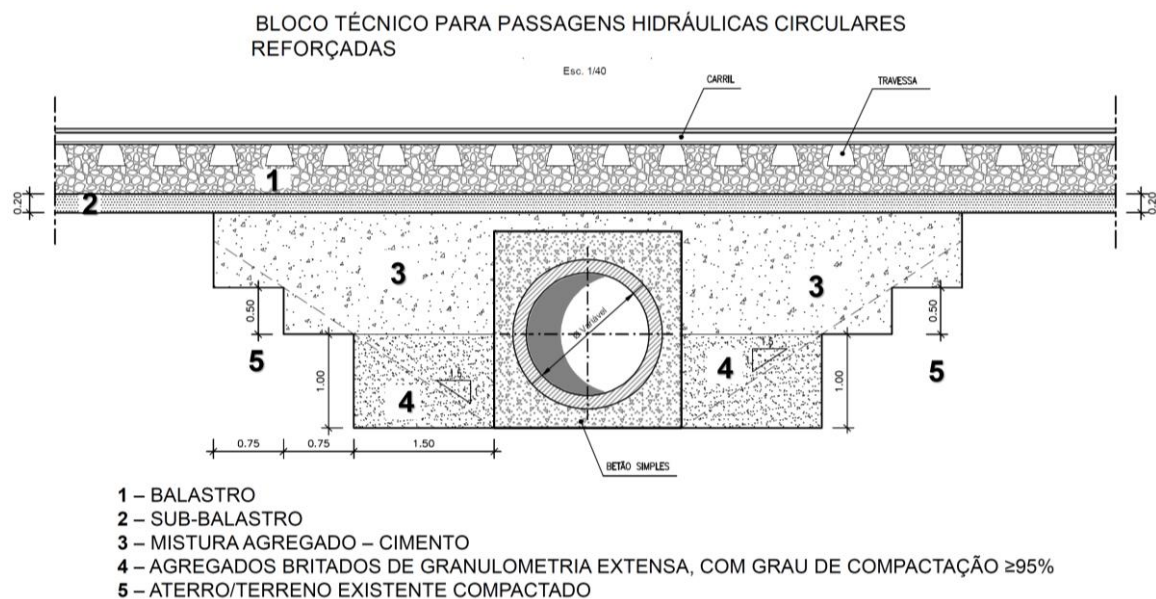
Este tipo de aterro é executado em zonas particularmente sensíveis, onde não é possível que o equipamento corrente utilizado no espalhamento e na compactação opere normalmente, devendo por isso ser objeto de conceção específica.

Considera-se a realização dos Blocos Técnicos junto aos encontros de obras de arte, muros de suporte, ou de estruturas enterradas de pequena dimensão situadas próximo da plataforma ferroviária.

### 2.3.2.1 Materiais Para o Bloco Técnico

Segundo o Caderno de Encargos, os materiais a serem utilizados na execução dos Blocos Técnicos devem ser convenientemente escolhidos, de modo a garantir um correto desempenho destes, já que a utilização de materiais não adequados pode originar assentamento significativos.

A Figura 13 refere-se ao projeto do Bloco Técnico para passagens hidráulicas circulares, onde estão representados os materiais a serem utilizados em cada parte da estrutura.



**Figura 13.** Projeto do Bloco Técnico e materiais a serem utilizados (Caderno de Encargos, 2017).

Os solos a utilizar na construção de Blocos Técnicos devem ser de boa qualidade, isentos de detritos, matéria orgânica ou quaisquer outras substâncias nocivas, devendo obedecer às seguintes características:

- Dimensão máxima.....75mm
- Percentagem de material que passa no peneiro nº 200 ASTM..... $\leq 20\%$
- Limite de liquidez..... $\leq 25\%$
- Índice de plasticidade..... $\leq 6\%$
- Equivalente de areia..... $\geq 40\%$

- Valor de azul de metileno..... $\leq 1,5$
- CBR a 95% de compactação relativa..... $\leq 10\%$
- Expansibilidade (ensaio CBR)..... $\leq 1,5\%$

No caso de ser utilizado mistura agregado-cimento, os agregados a utilizar na mistura com cimento devem ser constituídos pelo produto de britagem de material explorado em formações homogêneas, devendo estar isentos de ramos, folhas, raízes, ervas, troncos, ou qualquer outra substância que prejudique a ligação com o cimento. O agregado deverá estar de acordo com a tabela 8 e com os itens descritos abaixo.

**Tabela 8.** Granulometria necessária para agregados na mistura agregado-cimento (Caderno de Encargos, 2017)).

Peneiros (mm)	Percentagem acumulada do material que passa (%)
40,0	100
31,5	75 - 100
20,0	56 - 86
14,0	48 - 78
10,0	41 - 71
6,30	32 - 58
5,00	28 - 54
4,00	26 - 51
2,00	22 - 45
0,42	12 - 30
0,125	5 - 15
0,063	1 - 8

- Percentagem de material retido no peneiro de 20mm ..... $\leq 30\%$
- Limite de liquidez ..... $\leq 25\%$
- Índice de plasticidade ..... $\leq 6\%$
- Equivalente de areia..... $\geq 40\%$
- Valor de azul de metileno (material de dimensão inferior a 75  $\mu\text{m}$ ) ..... $\leq 2,0$
- Perda por desgaste na máquina de Los Angeles..... $\leq 45\%$
- Percentagem de matéria orgânica ..... $\leq 0,5\%$
- Teor em sulfatos ..... $\leq 0,5\%$
- Índice de lamelação e alongamento ..... $\leq 35\%$

### 2.3.3 PREPARAÇÃO, TRANSPORTE, ESPALHAMENTO E COMPACTAÇÃO

O Caderno de Encargos refere que o material que irá para o aterro deverá ser preparado na mancha de empréstimo, de modo a que o material a ser transportado seja homogéneo e que o teor em água não precise ser corrigido. O aterro deve ser solidarizado ao terreno natural. Para isso, é exigida a preparação do terreno com a adoção de medidas, tais como, escarificação da superfície.

Na execução dos aterros, o espalhamento de solos far-se-á por camadas horizontais sucessivas, ocupando toda a largura da secção transversal, respeitando a respetiva inclinação e em comprimentos tais que permitam a humedificação e compactação convenientes. A espessura das camadas de solo a compactar, será condicionada pelos meios de compactação colocados na obra, mas genericamente não deverá ser superior a 0,25 m.

A inspeção das camadas será visual, mas, fundamentalmente, com passagem de equipamento pesado para deteção de possíveis zonas fracas ou instáveis. O grau de compactação relativa a atingir, em todas as camadas, deverá ser igual ou superior a 95% da densidade seca máxima.

Os parâmetros mínimos para o controlo em aterros deverão considerar os valores apresentados da Tabela 9. Em blocos técnicos, a compactação deverá ser maior ou igual a 98%.

**Tabela 9.** Parâmetros mínimos para o controlo de compactação em função do tipo de solo (Caderno de Encargos, 2017).

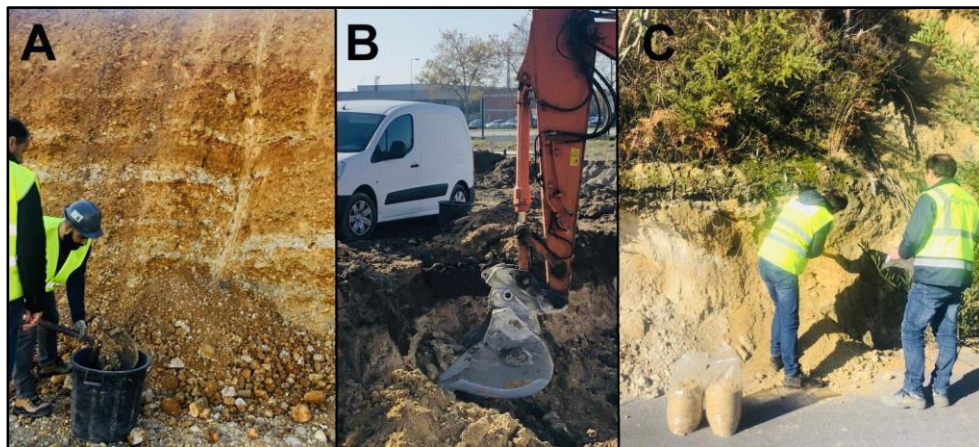
Tipo de Solo	CBR	Ensaio de referência		Tipo de aterro				
		(energia de compactação)		Homogéneo		Zonado		
		leve	pesada	h < 5 m	h ≥ 5 m	PIA	Corpo	PSA
S0	<3	NA						
S1	3 a 5	x		NA		NA	95% +/- 2%	NA
S2	5 a 10	x		98%(-1 a 0)	98%(-1 a 0)	95% +/- 2%	95% +/- 2%	NA
S3	10 a 20		x	98%(-1 a 0)	98%(-1 a 0)	95% +/- 2%	95% +/- 2%	100%(-1 a 0)
S4	20 a 40		x	95%(-1 a 0)	95%(-1 a 0)	90% +/- 2%	90% +/- 2%	98%(-1 a 0)
S5	>40		x	95%(-1 a 0)	95%(-1 a 0)	90% +/- 2%	90% +/- 2%	98%(-1 a 0)

NA- Não Aplicável (não se considera a aplicação deste tipo de solo)



## 2.4 AMOSTRAGEM

Uma análise de solo confiável depende, em grande parte, de uma colheita de amostras adequada (Fernandes, 1994). Com isto, em cada mancha de empréstimo escolheram-se 3 diferentes pontos de colheita que representassem todo o solo. As amostras foram colhidas nos locais definidos com o auxílio de pás e máquinas retroescavadoras, e armazenadas em sacos ou baldes (Figura 14). Foram colhidos, em média, cerca de 120 kg de cada amostra, a depender da tipologia do solo. Para solos com granulometria grosseira foi preciso recolher maior quantidade de amostra (LNEC E 195-1966). É importante considerar que o material recolhido deve ser suficiente para todas as análises e também para, se preciso, repeti-los.



**Figura 14.** Recolha das amostras. A) Amostra 5 - recolha através de pá e armazenamento em balde. B) Amostra 6 - recolha através de retroescavadora. C) Recolha através de pá e armazenamento em sacos.

## 2.5 ENSAIOS EM LABORATÓRIO

Neste capítulo apresentam-se os princípios gerais das metodologias e normas de ensaios utilizados na caracterização dos solos em laboratório neste estudo. Todos os procedimentos foram realizados de acordo com as normas citadas.

### 2.5.1 DETERMINAÇÃO DO VALOR DE AZUL DE METILENO

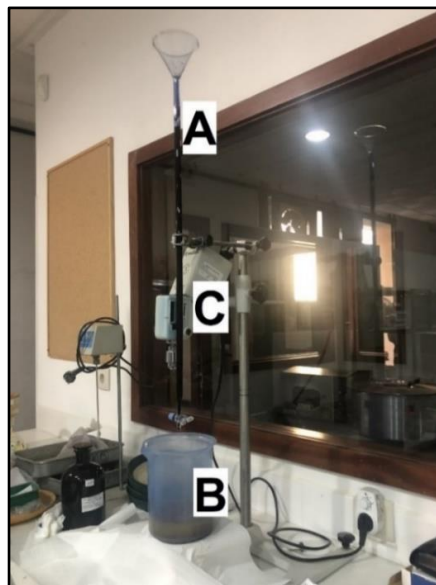
A determinação do valor de azul de metileno tem como objetivo medir a capacidade dos finos (argilas) absorverem o azul de metileno, medindo de forma indireta



a atividade da fração argilosa do solo. O ensaio, denominado por mancha de azul de metileno, foi realizado de acordo com a norma AFNOR NF P 18-592 (1990) e pode ser aplicado a todos os solos e materiais rochosos. Segundo Fabbri (1994) este ensaio é um dos procedimentos laboratoriais mais confiável para a identificação e classificação das argilas, pois trata-se de um ensaio quantitativo.

O ensaio consiste em medir a quantidade de azul de metileno que pode ser adsorvida pelos elementos finos, sendo que o valor de azul de metileno do solo está relacionado diretamente com a superfície específica das partículas que o constituem. Quanto maior for a absorção de azul de metileno, maior será a quantidade de finos ativos neste solo. A adsorção máxima é atingida assim que uma auréola azul mais clara aparece á volta da mancha e persiste.

Para a realização deste ensaio, conforme a Figura 15, é necessário um dispositivo de dosagem (bureta), um agitador com capacidade de rotação entre 400 e 700 rpm, um recipiente cilíndrico com capacidade de 3000 cm<sup>3</sup> e 155 mm de diâmetro, vareta de vidro e papel de filtro branco com teor de cinzas <0,01%. É ainda necessário uma solução de azul de metileno de qualidade medicinal diluído em água destilada a 10 g/l. A caulinite é adicionada, caso seja necessário ou sempre, em função da norma adotada.

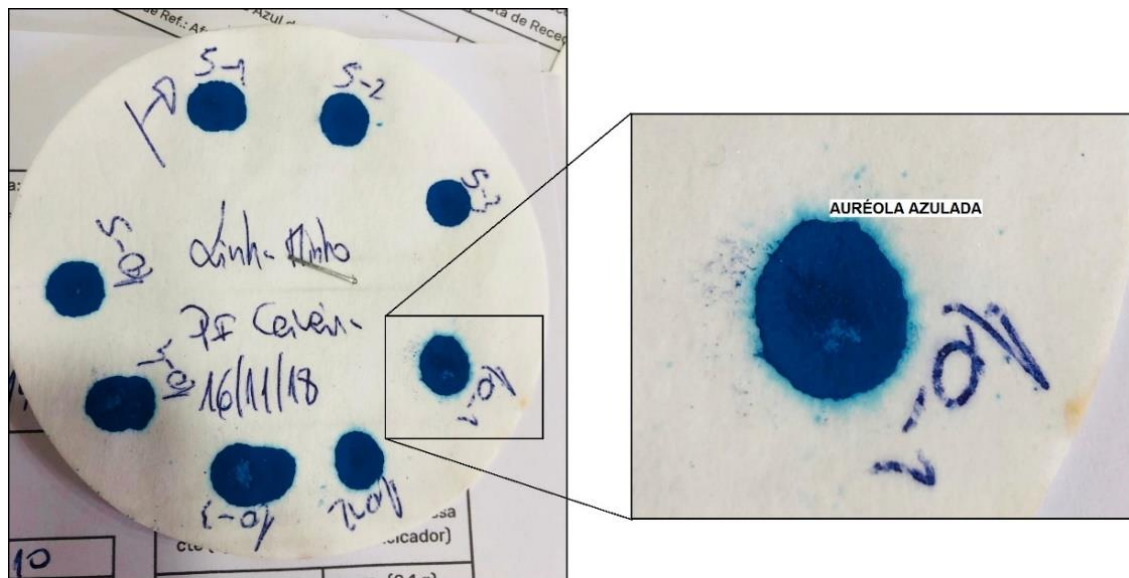


**Figura 15.** Equipamentos utilizados para o ensaio de azul de metileno. A) Bureta para dosagem. B) Recipiente cilíndrico. C) Agitador.

Para determinar a massa da amostra a ser ensaiada ( $M_h$ ) é necessário determinar o teor de água da amostra ( $w$ ) e o teor em finos ( $f$ ). O valor de  $f'$ , definido na norma, é igual a 30 g e representa a quantidade desejável de finos. A massa não pode ser maior que 300 g.

$$M_h = f' \frac{w + 100}{f}$$

Para executar o ensaio é necessário encher a bureta com a solução de azul de metileno e colocar a amostra para ensaio no recipiente cilíndrico com 500 cm<sup>3</sup> de água destilada. Liga-se o agitador e agita-se a amostra durante 5 minutos, adiciona-se 5 ml de solução de azul de metileno, segundo a argilosidade estimada, e aguarda-se 1 minuto. Posteriormente, com o auxílio da vareta, coloca-se uma gota do material no filtro e verifica-se a existência da auréola azulada. Continua-se o ensaio até o aparecimento da auréola azul na parte periférica da mancha (Figura 16). A partir do momento em que aparecer, continua-se a agitação sem mais adição de solução, efetuando-se ensaios da mancha a cada minuto. Se a auréola desaparecer durante os primeiros 4 minutos, adiciona-se mais 5 ml de solução. Se a auréola desaparecer no quinto minuto, adiciona-se apenas 2 ml de solução corante. Em ambos os casos, a auréola deverá permanecer constante durante 5 minutos.



**Figura 16.** Análise de azul de metileno da Amostra 5. Nos pontos 5-1, 5-2 e 5-3 não aparece a auréola azulada. O ponto de viragem está entre 5-3 e 10-1.

O valor de azul  $V_{Bta}$  será expresso em gramas de azul por 100g de finos, dado pela seguinte fórmula:

$$V_{Bta} = \frac{v_1 - v'}{q}$$

onde:

$v_1$  = volume final da solução injetada, em ml;

$v'$  = volume de azul adsorvido pela caulinite ( $v' = 30 * V_{BtaK}$ );

$q$  = massa real de finos testados.

## 2.5.2 EQUIVALENTE DE AREIA

O ensaio de equivalente de areia exprime a quantidade e qualidade de elementos finos (menores que 4,75 mm) existentes num solo, e foi realizado de acordo com a norma LNEC E 199-1967. É medido em volume numa cápsula padrão, e colocado em uma proveta contendo uma solução de cloreto de cálcio-glicerina-formaldeído.

Para a realização deste ensaio é necessário utilizar os seguintes equipamentos: agitador mecânico, kit equivalente de areia, peneiro 4,76 mm, repartidor 5mm, estufa, cronómetro e régua de 500 mm.

A proveta com a fração de finos em solução é deixada em repouso durante 10 minutos e posteriormente agitada durante 30 segundos. Completa-se a proveta com a solução até um nível predeterminado, e deixa-se em repouso por mais 20 minutos. Determina-se a altura do material em solução ( $h_1$ ) com relação a base da proveta (Figura 17-A). Se introduz lentamente o pistão na proveta até que ele repouse sobre a parte sedimentada (Figura 17-B). Quando o pistão atingir a parte sedimentada, mede-se a altura ( $h_2$ ), ou seja, a distância entre a face inferior do pistão e a face superior do anel deslizante. Como resultado, o equivalente de areia dum provete é dado por:

$$E. A. = \frac{h_2}{h_1} * 100$$

O valor do equivalente de areia varia de 0 até 100, quanto mais próximo de 0 indica material argiloso e quanto mais próximo de 100 material arenoso. Se o valor for menor que 20, os finos são maioritariamente argilosos, devendo se proceder a ensaios de determinação dos limites de Atterberg.



Figura 17. Realização do ensaio de equivalente de areia.

### 2.5.3 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA

O ensaio de análise granulométrica por peneiração húmida tem por objetivo determinar quantitativamente a distribuição por tamanhos das partículas de um solo retidas no peneiro de 0,074 mm (nº 200 ASTM) e a percentagem de material passada nesse peneiro. O ensaio foi efetuado consoante a norma LNEC E 239-1970.

A metodologia consiste em passar o solo no peneiro de 2 mm até obter aproximadamente 400 g de solo retido. Lava-se com jato de água o material retido no peneiro e leva-se para a estufa a 105-110 °C até massa constante. Depois de seco, pesa-se e regista-se o valor. Tomam-se cerca de 100 g (solos arenosos) ou 50 g (solos silteosos ou argilosos), pesam-se e regista-se a massa  $m_d$ . Este material é colocado no copo de precipitação com 1 g de polifosfato e 250 cm³ de água. Agita-se com a vareta e deixa-se repousar por no mínimo 1h.

Posteriormente, todo o material é transferido para o peneiro 0,074 mm onde é lavado com o jato de água (Figura 18). Regista-se o valor que passou pelo peneiro. O material retido, é colocado em cápsula e seco na estufa a 105 - 110 °C até massa constante. Passa-se o material nos peneiros de 0,841 mm, 0,420 mm, 0,250 mm, 0,105 mm e 0,0074 mm. Por fim, são determinadas as massas das frações retidas em cada peneiro. O resultado é expresso em percentagem referente a massa  $m_d$ .



**Figura 18.** Peneiração húmida através da lavagem de jato no peneiro 0,074 mm.

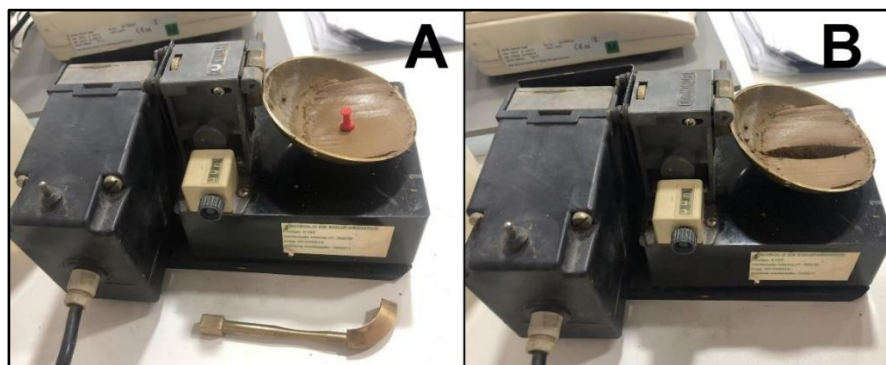


## 2.5.4 LIMITES DE CONSISTÊNCIA

O presente ensaio tem por objetivo determinar os limites de liquidez e de plasticidade de solos para efeitos de engenharia civil. A norma que define e fixa os processos é a norma NP 143-1969. Segundo a norma, entende-se por limite de liquidez (LL) de uma amostra de solo o teor em água correspondente a 25 pancadas aplicadas na Concha Casagrande, obtido por interpolação numa curva que relaciona o teor em água de cada um de 4 provetes da amostra com o número de pancadas para qual os bordos inferiores de um sulco aberto num provete se unem numa extensão de 1 cm, quando o ensaio é feito na concha Casagrande. Para efetuar o ensaio são necessários os seguintes equipamentos: concha de Casagrande, riscador, almofariz, peneiro de malha quadrada de 420  $\mu\text{m}$ , cápsula com cerca de 10 cm de diâmetro e espátula para preparar a pasta de solo com água destilada.

Uma toma inicial de aproximadamente 500 g, deverá ser passada no almofariz com o objetivo de promover a separação das partículas, sem alterar a granulometria. Posteriormente passa-se a amostra no peneiro. Com o material passado no peneiro e água destilada, faz-se uma pasta homogénea e consistente. Antes de se iniciar o ensaio, regulariza-se a altura de queda da concha com o auxílio do calibre. Então, o material é colocado na concha com espessura máxima de 1 cm (Figura 19-A) e com a superfície nivelada. Faz-se um risco no centro com o riscador (Figura 19-B) e liga-se a concha.

A quantidade de água a juntar aos provetes deve ser escolhida de forma que, o número de pancadas necessárias para unir os bordos dos sulcos varie entre 10 e 40, e se distribuam, em dois ensaios, abaixo de 25 pancadas e, em outros dois, acima de 25. Os resultados são expressos através da projeção gráfica relacionando o teor de água com o número de pancadas correspondente. O valor do limite de liquidez corresponde ao teor de água correspondente a 25 pancadas. Se não for possível determinar o limite de liquidez, assume-se que o material é não plástico.



**Figura 19.** Ensaio de limites de liquidez. A) Material nivelado com espessura máxima de 1 cm e B) sulco aberto através do riscador.

A norma NP 143-1969 também define a metodologia para se obter o limite de plasticidade (LP) de um material. É aplicável, assim como no Limite de Liquidez, a materiais com 30% ou mais, em massa, de partículas de dimensões inferiores a 0,05 mm. Para solos arenosos, o ensaio perde o seu sentido. Para definir se um solo é plástico ou não, cria-se uma pasta com o solo e água destilada e rola-se o provete entre a palma da mão e a placa de vidro. Quando atingir um diâmetro de aproximadamente 3 mm, aglomeram-se os filamentos e determina-se o teor em água. Se não for possível moldar os rolos, considera o material como não plástico (Figura 20).

Após obter os valores de LL e LP, por diferença obtém-se o Índice de Plasticidade (IP). Este índice é expresso em percentagem e representa a quantidade máxima de água que pode ser adicionada a um solo, a partir do seu Limite de Plasticidade, de modo que o solo não perca sua consistência plástica. Segundo o Índice de Plasticidade, os solos poderão ser classificados como fracamente plásticos ( $1 < IP < 7$ ), medianamente plásticos ( $7 < IP < 15$ ) ou altamente plásticos ( $IP > 15$ ) (Caputo, 1988).



**Figura 20.** Ensaio de limites de plasticidade. Amostra 5 - não plástica.

### 2.5.5 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO PROCTOR

O ensaio de compactação Proctor foi executado segundo a norma LNEC E 197-1966. O ensaio pode ser normal ou modificado, de acordo com a energia da compactação utilizada. Também pode ser feito em dois tipos de molde, grande ou pequeno, dependendo da granulometria do material a ensaiar.

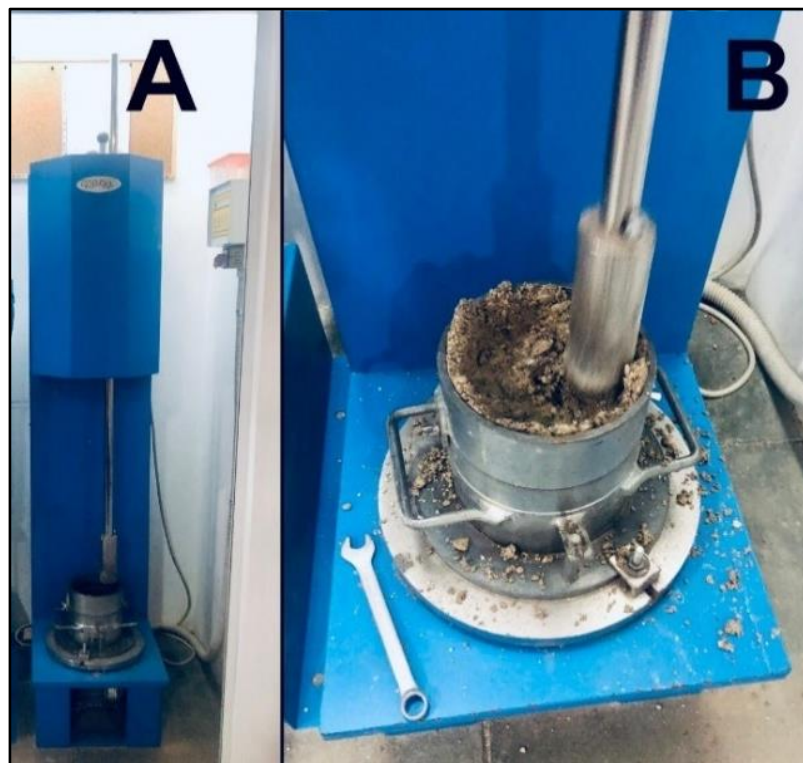
O ensaio é realizado a partir de um molde cilíndrico, onde são compactadas amostras de solo. São feitas 3 ou 5 camadas, em que cada uma é compactada com 25

ou 55 pancadas, a depender do tamanho do molde. As pancadas dão-se através do pilão de compactação, com peso normalizado em 2,5 ou 4,5 kg.

Para efetuar a compactação, adiciona-se uma quantidade de água destilada, homogeneiza-se bem a mistura e a coloca no cilindro. Aplicam-se os golpes e adiciona-se a próxima camada (Figura 21). O procedimento é repetido até atingir uma altura maior que a do molde. Após rasar o molde, pesa-se o solo juntamente com o molde. O peso do solo no molde é calculado, determinando-se também o teor em água, e o peso volúmico seco. Repete-se uma média de 5 ensaios para cada amostra onde se fazem variar os teores em água para cada ensaio.

O resultado é expresso em um gráfico de massa específica *versus* teor em água, onde se obtém a curva de compactação e se encontra o teor em água ótimo.

O teor em água ótimo corresponde a um certo teor de humidade para uma energia aplicada. Ou seja, em uma compactação, os solos não devem ser compactados abaixo ou acima de uma humidade ótima, pois é ela que fornece estabilidade ao solo.



**Figura 21.** Ensaio de compactação Proctor. A) Equipamento de compactação. B) Ensaio sendo realizado em molde grande.

Quando a percentagem de retidos no peneiro 19 mm for maior que 20%, realiza-se a correção Proctor através da determinação das massas volúmicas (NP EN 1097-6-2016) e posteriormente através da correção do ensaio de compactação (PIE.002.1). Com isto obtém-se novos valores de baridade seca máxima e teor em água ótimo.

## 2.5.6 ENSAIO CALIFORNIANO DE CAPACIDADE DE CARGA (CBR)

O ensaio CBR (California Bearing Ratio) está especificado na norma LNEC E 198-1967, e é utilizado para avaliação indireta da resistência mecânica de um solo. Segundo Cunha (2014), a sequência do ensaio inicia-se com a determinação do teor em água ótimo (definido no ensaio Proctor) e do peso específico seco. Em seguida, determinam-se as propriedades expansivas do material e determina-se o CBR.

O procedimento consiste em, primeiramente, compactar o solo com o Proctor, com o teor em água ótimo. A expansibilidade da amostra é avaliada colocando o molde em um recipiente embebido em água e adicionando um defletómetro (Figura 22). A leitura do defletómetro é feita de 24 em 24 horas, durante um período de 96 horas (4 dias). Posteriormente, o molde é retirado e pesado para determinação do peso volúmico e do peso da quantidade de água absorvida.

Por fim, a penetração é realizada em uma prensa de CBR, onde é aplicada uma carga com velocidade de 1 mm/min e anota-se a carga de penetração a cada 30 segundos. A curva de força-penetração é traçada. Quando a curva apresentar o troço inicial côncavo, deve-se proceder a correção, traçando uma tangente à curva no ponto de inflexão, tomando-se como nova origem, o ponto de interseção da tangente com o eixo das penetrações.

O resultado do CBR é expresso em percentagem, obtida através da divisão entre a pressão calculada/obtida (x) pela pressão padrão (y):

$$CBR(\%) = \frac{x}{y} * 100$$



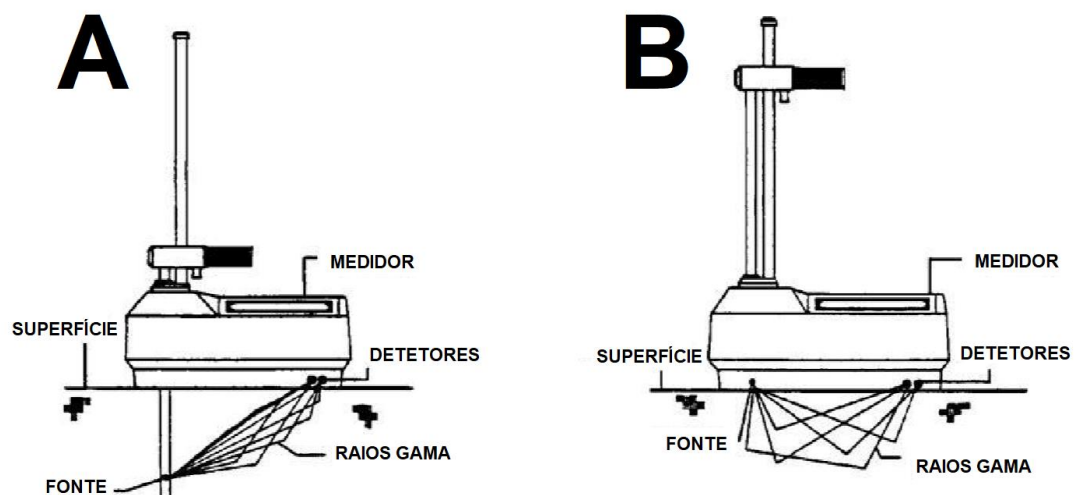
**Figura 22.** Determinação das propriedades expansivas do material em molde grande com defletómetro.



## 2.6 ENSAIO DE CONFORMIDADE (*IN SITU*)

O controlo de conformidade dos solos aplicados em obra foi realizado pelo método radioativo, através de um gamadensímetro (ASTM D6938-17). O gamadensímetro mede o grau de compactação de um solo, através dos valores de teor em água e baridade seca do solo. Este método é não destrutivo, apresenta rapidez na execução e é um dos métodos mais utilizados para controlo da compactação.

O gamadensímetro Troxler emite raios gama na camada a ensaiar, com uma determinada energia, e contabiliza os raios que voltam ao receptor sem perda. Quanto mais densa uma camada, maior o valor. Existem dois métodos de aplicação, o método A e o método B. O método da transmissão direta (Figura 23-A) é realizado em profundidade, através de um furo na camada que se pretende ensaiar e uma fonte. Já o método da transmissão indireta (Figura 23-B), o equipamento é simplesmente colocado sobre superfície, ou seja, a uma profundidade 0.



**Figura 23.** Gamadensímetros de transmissão direta e indireta. Fonte: <http://www.troxlerlabs.com>.

De acordo com Ferreira da Silva (2013) alguns fatores podem afetar os resultados. A medição da baridade pode ser afetada pela composição química dos solos e pela heterogeneidade dos solos. Além disso, as medições realizadas através do método de transmissão indireta são mais influenciáveis pelo material mais próximo da superfície, por partículas de grandes dimensões ou vazios, e presença de outras fontes radioativas no local. O teor em água também pode ser afetado pela composição química do material, pelo teor em água do material mais superficial e outras fontes de neutrões presentes no local.

Através do método radioativo e conforme a Tabela 9, os ensaios de conformidade deverão assegurar uma densidade seca igual a 95% da densidade máxima obtida no Ensaio de Proctor Modificado. A Figura 24 mostra o equipamento *in situ* a realizar um ensaio através do método de transmissão indireto.



**Figura 24.** Gamadensímetro Troxler utilizado no controlo de compactação em obra. Imagem obtida em 15/03/2019.

## 2.7 RESULTADOS

Neste subcapítulo apresentam-se os resultados dos ensaios realizados em laboratório referente aos seis solos analisados. Também se apresentam os resultados da verificação da compactação dos solos aplicados em obra. Os modelos dos boletins de ensaio encontram-se em anexo.

### 2.7.1 ENSAIOS EM LABORATÓRIO

Na Tabela 10 apresentam-se os dados obtidos através dos ensaios de análise granulométrica, determinação dos limites de consistência, equivalente de areia e azul de metileno. Apresentam-se ainda a classificação dos solos considerando a classificação textural, classificação unificada e classificação para fins rodoviários.

O valor de equivalente de areia das amostras de solos varia entre 17% e 58%. As amostras 1 e 5 apresentam valores menores que 20%, ou seja, correspondem a solos compostos por finos maioritariamente argilosos. A amostra 2 é, dentre as 6 amostras, a que apresenta o maior valor, indicando um solo com constituição maioritariamente arenosa. As amostras 3, 4 e 6, com equivalente de areia entre 20% e 30%, deverão ter seu comportamento verificado através dos limites de consistência.

No ensaio de azul de metileno, quanto maior a percentagem de argilas no solo, maior a quantidade de solução necessária para tornar o teste da mancha positivo. Os resultados variaram entre 0,3 e 1,8 em gramas de corante por quilo. A maior quantidade de solução foi adicionada à amostra 3, ou seja, dentre as amostras analisadas, é a que maior apresentou necessidade de adição de azul de metileno, ou seja, é a amostra com mais finos.

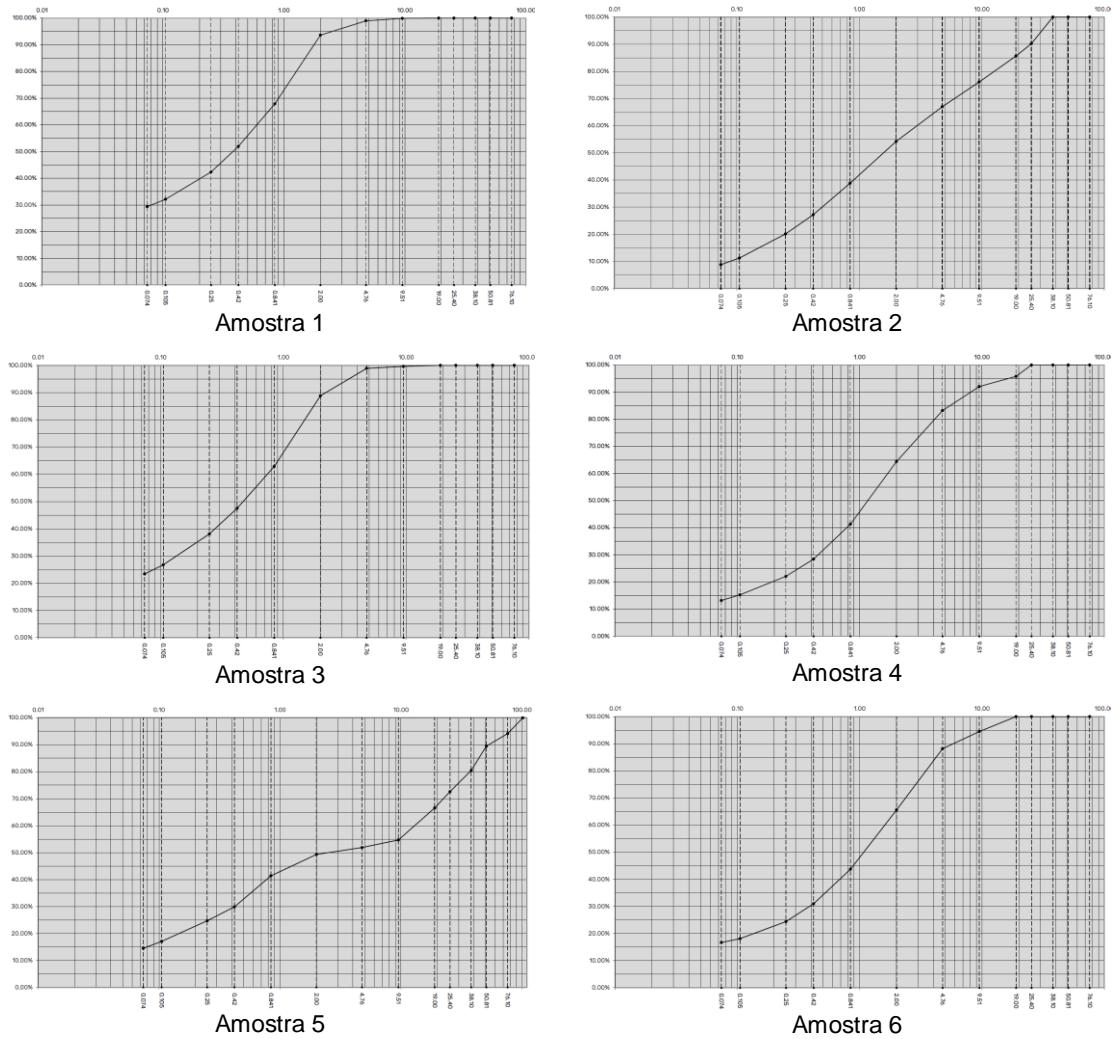
Os resultados obtidos através da determinação dos limites de consistência, indicam que os solos 2 e 5 são considerados não plásticos, os solos 1, 4 e 6 são classificados como fracamente plásticos e o solo da amostra 3 medianamente plástico.

A Figura 25 mostra as curvas granulométricas obtidas para as seis amostras de solos. As curvas das amostras 1, 2, 3, 4 e 6 representam solos como uma variação mais uniforme entre os tamanhos dos grãos, ou seja, são solos bem graduados. Diferente destas, a curva granulométrica da amostra 5 indica que a amostra é mal graduada.

Todos os solos analisados apresentam percentagem de retidos no peneiro nº 200 maior do que 50%. As amostras 1 e 3 são as que apresentam quantidades mais significativas de materiais finos, sendo respetivamente, 29,34% e 23,39%.

**Tabela 10.** Resultados dos ensaios realizados em laboratório e classificação dos solos.

	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4	AMOSTRA 5	AMOSTRA 6
Ac. passados p. nº 4 (%)	98,97	66,95	98,87	83,18	51,87	88,16
Ac. passados p. nº 10 (%)	93,62	54,21	88,77	64,39	49,33	65,56
Ac. passados p. nº 40 (%)	51,94	27,16	47,50	28,44	29,85	31,02
Ac. passados p. nº 200 (%)	29,34	8,78	23,39	13,19	14,50	16,70
L. de Liquidez (%)	25	-	30	26	-	24
L. de Plasticidade (%)	20	-	23	19	-	19
Índice de Plasticidade	5	N.P.	7	7	N.P.	5
Classificação Textural	Areia argilo-siltosa	Areia	Areia siltosa	Areia	Areia siltosa	Areia siltosa
Classificação Unificada	SC-SM Areia argilo-siltosa	SW-SM Areia bem graduada com silte	SM (u) Areia Siltosa	SC-SM Areia argilo- siltosa	SM (d) Areia Siltosa	SC-SM Areia argilo-siltosa
Classificação Rodoviária	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)
Equivalente de Areia (%)	17	58	23	29	18	21
Azul de Metileno (g)	0,3	0,3	1,8	0,3	0,5	0,9



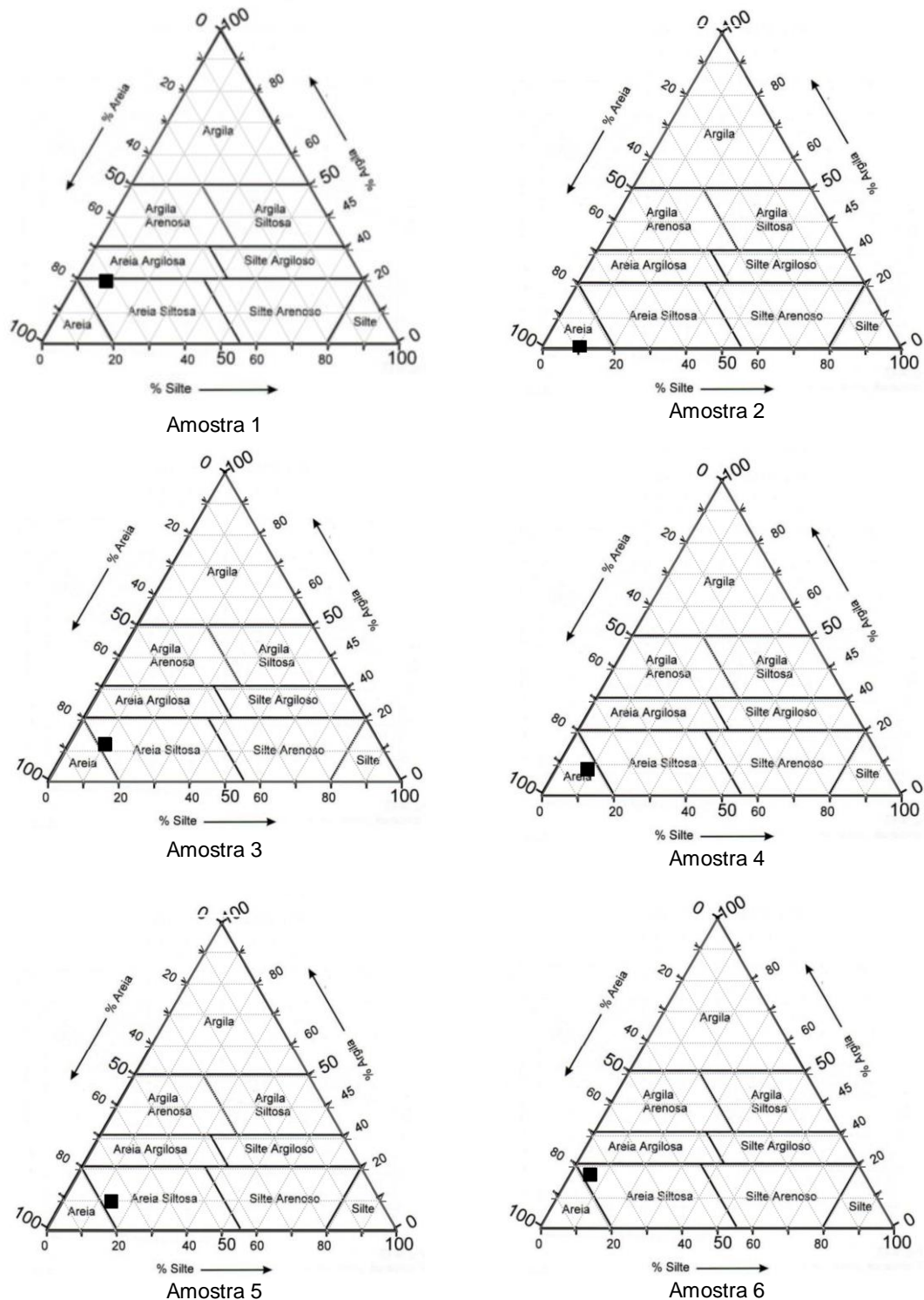
**Figura 25.** Curvas granulométricas dos solos analisados.

Na Tabela 11 apresentam-se as percentagens das frações granulométricas areia, silte e argila dos solos, que permitem determinar a classificação da textura dos solos com base no diagrama de Feret (figura 26). Verifica-se que os solos são relativamente semelhantes e predominantemente arenosos, com percentagens de areia a variar entre cerca de 72% e 89%. A percentagem de argila nas amostras varia mais significativamente, com valores entre 0,80% e 14,46%.

**Tabela 11.** Percentagem das frações granulométricas das amostras ensaiadas.

Amostras	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
<b>1</b>	72,01	7,84	20,14
<b>2</b>	88,89	10,31	0,80
<b>3</b>	77,89	9,89	12,21
<b>4</b>	83,11	8,41	8,48
<b>5</b>	76,40	13,59	9,97
<b>6</b>	76,92	5,60	17,46

Os diagramas triangulares para classificação textural dos solos foram projetados de acordo com a percentagem dos diferentes componentes granulométricos, através do *software Triplot* (Figura 26). A análise dos diagramas permite verificar que as amostras classificam-se da seguinte forma: amostra 1 - areia argilo-siltosa; amostra 2 e 4 – areia; amostra 3, 5 e 6 - areia siltosa.



**Figura 26.** Classificação textural dos solos (adaptado de Fernandes (1994)).

Para as amostras estudadas, a Classificação Unificada identifica 3 tipos de solos, SC-SM, SW-SM e SM. Os solos das amostras 1, 4 e 6 classificam-se como SC-SM - areias argilo-siltosas, para as quais se pode prever o seguinte comportamento: quando compactados são semipermeáveis a impermeáveis, quando compactados e saturados apresentam boa a razoável resistência ao corte e baixa compressibilidade e a trabalhabilidade destes solos como material de construção pode ser considerada razoável a boa. A amostra 2 foi classificada como SW-SM - areia bem graduada com silte, podendo ser permeável quando compactado, apresentar excelente a boa resistência ao corte quando compactado e saturado, compressibilidade desprezível a baixa e excelente trabalhabilidade como material de construção. Os outros dois solos, amostra 3 e 5, classificam-se como SM – areias siltosas, sendo que podem apresentar comportamento semipermeável a impermeável quando compactados, boa resistência ao corte quando compactados e saturados, baixa compressibilidade e razoável trabalhabilidade como material de construção.

A Classificação Rodoviária classifica os seis solos como A-2-4(0), correspondendo a solos constituídos por areia e areia siltosa ou argilosa, com um excelente a bom comportamento sob o pavimento.

Os resultados encontrados através ensaio de compactação Proctor e CBR estão indicados na Tabela 12. Cada curva de compactação do Proctor resulta da realização do ensaio de cinco provetes, dois com teores em água inferiores ao ótimo (ramo seco), dois com teores em água superiores ao ótimo (ramo húmido) e um central (podendo ser maior ou menor que o ótimo). Dentre as 6 amostras, o maior valor de teor em água ( $W_{opt}$ ) é referente a amostra 3 (11,5%) e o menor referente a amostra 5 (7,7%). O maior valor encontrado de baridade seca máxima ( $Y_{d_{max}}$ ) foi para as amostras 5 e 6 (2,08 g/cm<sup>3</sup>) e o menor para a amostra 3 (1,88 g/cm<sup>3</sup>). Portanto, é possível verificar que ao aumentar o esforço de compactação, a baridade seca máxima aumenta e teor em água ótimo diminui.

A Tabela 13 exhibe os resultados do ensaio CBR para 12, 25 e 55 pancadas e para penetrações de 2,5 mm e 5,00 mm. Também apresenta as respectivas curvas de CBR que relacionam penetração *versus* carga. Através das curvas dos gráficos, corrigindo o ponto de origem, foi possível corrigir os valores de força para os valores mais baixos de penetração. O valor final de CBR corresponde a 95% da baridade seca máxima com a energia de compactação referente a 55 pancadas.

Os resultados de CBR para 95% da compactação relativa estão entre 13 e 39 para penetração de 2,5 mm e entre 18 e 52 para penetração de 5,0 mm. As amostras que apresentaram maior resistência a penetração foram as amostras 1, 5 e 6. A que apresentou menor resistência foi a amostra 3.



**Tabela 12.** Resultados de Proctor com respetivas curvas de compactação.

AMOSTRA 1	$\gamma_{d_{max}}$ 1,90 g/cm <sup>3</sup>  $W_{opt}$ 11,0 %	
AMOSTRA 2	$\gamma_{d_{max}}$ 1,98 g/cm <sup>3</sup>  $W_{opt}$ 8,2 %	
AMOSTRA 3	$\gamma_{d_{max}}$ 1,88 g/cm <sup>3</sup>  $W_{opt}$ 11,5 %	
AMOSTRA 4	$\gamma_{d_{max}}$ 1,98 g/cm <sup>3</sup>  $W_{opt}$ 10,0 %	
AMOSTRA 5	$\gamma_{d_{max}}$ 2,08 g/cm <sup>3</sup> corrigido  $W_{opt}$ 7,7 % corrigido	
AMOSTRA 6	$\gamma_{d_{max}}$ 2,08 g/cm <sup>3</sup>  $W_{opt}$ 8,1 %	



Tabela 13. Resultados e curvas dos ensaios CBR.

	Curva		2,5 mm	5,0 mm
AMOSTRA 1		N (12)	6	7
		N (25)	23	25
		N (55)	47	57
		CBR (95%)	38	45
AMOSTRA 2		N (12)	15	21
		N (25)	13	19
		N (55)	23	38
		CBR (95%)	18	27
AMOSTRA 3		N (12)	5	7
		N (25)	13	17
		N (55)	13	19
		CBR (95%)	13	18
AMOSTRA 4		N (12)	17	22
		N (25)	27	39
		N (55)	27	41
		CBR (95%)	25	36
AMOSTRA 5		N (12)	18	21
		N (25)	30	40
		N (55)	39	52
		CBR (95%)	39	52
AMOSTRA 6		N (12)	3	4
		N (25)	22	30
		N (55)	42	57
		CBR (95%)	35	47

Referente a aplicabilidade dos solos em aterros homogéneos (descrita na Tabela 7), considerando a Classificação Unificada e os valores de CBR, as amostras foram identificadas como classe S3. Com isto, dentre todas as amostras caracterizadas, somente a amostra 3 não pode ser aplicada em aterros homogéneos. As restantes podem ser aplicadas em aterros homogéneos, tanto em aterros com menos de 5 m de altura até aterros maiores.

Relativamente a utilização dos solos estudados para a constituição dos aterros que satisfaçam as especificações técnicas exigidas no caderno de encargos, no que tange a percentagem de finos  $\leq 15\%$  e índice de plasticidade  $IP \leq 6$ , os únicos solos que se enquadram são referentes as manchas de empréstimo 2 e 5.

Os solos a utilizar na construção dos Blocos Técnicos, deverão dentre as outras características, possuir valor de equivalente de areia maior ou igual a 40%. Com isto, somente a amostra 2 supre as necessidades do caderno de encargos para constituir os aterros dos Blocos Técnicos.

Por conseguinte, a partir da análise integrada dos resultados dos ensaios laboratoriais com o estabelecido no Caderno de Encargos, o solo oriundo da mancha de empréstimo 2 poderá ser aplicado tanto em aterros homogéneos como em Blocos Técnicos. O solo relativo à amostra 5 poderá ser aplicado somente em aterros homogéneos (tabela 14).

**Tabela 14.** Síntese dos resultados apresentados para as 6 amostras.

Amostras	Aterro homogéneo	Bloco Técnico
1	✗	✗
2	✓	✓
3	✗	✗
4	✗	✗
5	✓	✗
6	✗	✗

## 2.7.2 ENSAIOS DE VERIFICAÇÃO EM OBRA

A fim de se verificar a conformidade dos solos, realizaram-se diversos ensaios de grau de compactação do solo *in situ*. As medições foram efetuadas camada por camada, de modo a abranger a maior área possível, e todas foram realizadas na superfície da camada.

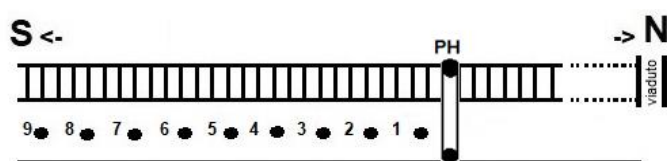
Os resultados da verificação em obra serão divididos em três subcapítulos, sendo eles: controlo da compactação em aterro da linha férrea, controlo da compactação em aterro de edifício técnico e controlo da compactação em bloco técnico.

### 2.7.2.1 Controlo de Compactação em Aterro da Linha Férrea

Conforme referido anteriormente, as amostras 2 e 5 apresentam características geotécnicas para aplicação em aterros homogéneos, conforme o caderno de encargos. Entretanto, foi definido pelos projetistas a utilização da amostra 5. Esta amostra apresenta baridade seca máxima ( $Y_{d_{max}}$ ) igual a  $2,08 \text{ g/cm}^3$  e teor em água ótimo ( $W_{opt}$ ) de 7,7%.

O trecho experimental está compreendido entre o PK 89+750 e o PK 89+650, na localidade de Carreço, e corresponde a um aterro para duplicação da via.

O aterro foi composto por 8 camadas, sendo que se realizaram de 6 a 11 ensaios de compactação com gamadensímetro por camada. As figuras 27 e 28 ilustram as medições referente a 1ª camada, com nove medições. Ao fundo da figura 28 é possível observar o aterro já existente, ou seja, corresponde a cota em que o novo aterro deverá alcançar.



**Figura 27.** Esquema representativo do controle de compactação no trecho entre o PK 89+750 e o PK 89+650.



**Figura 28.** Compactação da primeira camada para verificação. Imagem obtida em 02/02/2019.

As tabelas 15 e 16 exibem os resultados por camada. É possível perceber que o teor em água difere do teor em água ótimo obtido em laboratório (7,7%). Também o grau de compactação é inferior aos 98% estabelecidos no caderno de encargos para solos do tipo S3 em aterros homogéneos.

**Tabela 15.** Resultados médios da baridade húmida, baridade seca e do teor em água por camada - aterro homogéneo.

Camada	MÉDIA Baridade Húmida (kg/m³)	MÉDIA Teor em Água (%)	MÉDIA Baridade Seca (kg/m³)
1ª	2181	8,0	2017
2ª	2196	8,0	2029
3ª	2158	7,7	2003
4ª	2198	9,0	2020
5ª	2200	9,7	2005
6ª	2239	11,0	1991
7ª	2212	10,0	2004
8ª	2224	10,0	2023

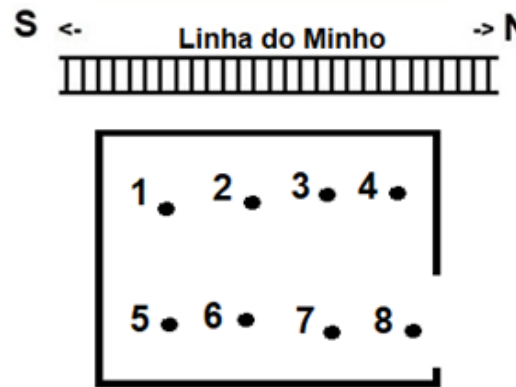
**Tabela 16.** Resultados do grau de compactação do solo - aterro homogéneo.

Camada	MÉDIA (%)	MÁXIMO (%)	MINIMO (%)	DESVIO PADRÃO
1ª	97,0	100,3	95,0	1,66
2ª	97,6	100,5	95,3	1,79
3ª	96,3	99,2	94,8	1,35
4ª	97,1	100,3	95,3	1,70
5ª	96,4	98,3	95,0	1,27
6ª	97,2	98,7	95,7	0,95
7ª	96,3	99,0	95,3	1,21
8ª	97,0	99,6	94,9	1,71

### 2.7.2.2 Controlo de Compactação em Edifício Técnico

Segundo a fiscalização em obra, o solo a ser utilizado em aterros de edifícios técnicos deverá conter as mesmas características que os solos utilizados em blocos técnicos. Com isto, o único solo passível de utilização é o referente a amostra 2. Este apresenta baridade seca máxima ( $Y_{d_{max}}$ ) igual a 1,98 g/cm³ e teor ótimo em água ( $W_{opt}$ ) igual a 8,2%.

O edifício técnico em que se efetuaram os ensaios está localizado na localidade do Carreço. O aterro foi composto por 5 camadas e em cada uma delas foram realizados 8 ensaios de compactação com o gamadensímetro (Figura 29). A Figura 30 mostra a última camada sendo compactada através de um cilindro compactados de 2,5 toneladas.



**Figura 29.** Esquema representativo dos ensaios realizados no edifício técnico.



**Figura 30.** Compactação no edifício técnico, solo da mancha de empréstimo 2. Imagem obtida em 07/12/2019.

As tabelas 17 e 18 mostram os resultados médios por camada. É possível observar através desta que as primeiras quatro camadas apresentam valores muito próximos dos obtidos através do ensaio Proctor. A 5ª camada apresenta valores maiores e valores de compactação muito próximos de 100%.

**Tabela 17.** Resultados médios da baridade húmida e seca e do teor em água por camada - Edifício Técnico.

Camada	MÉDIA Baridade Húmida (kg/m³)	MÉDIA Teor em Água (%)	MÉDIA Baridade Seca (kg/m³)
1ª	2084	9,0	1920
2ª	2086	9,0	1919
3ª	2089	9,0	1914
4ª	2114	9,0	1941
5ª	2197	11,0	1988

**Tabela 18.** Resultados do grau de compactação do solo - Edifício Técnico.

Camada	MÉDIA (%)	MÁXIMO (%)	MINIMO (%)	DESVIO PADRÃO
1 <sup>a</sup>	97,0	99,8	95,6	1,25
2 <sup>a</sup>	96,9	98,1	95,9	0,87
3 <sup>a</sup>	96,7	99,5	95,4	1,20
4 <sup>a</sup>	98,0	99,7	96,3	1,29
5 <sup>a</sup>	100,4	102,3	99,3	1,13

### 2.7.2.3 Controlo de Compactação em Bloco Técnico

Com base nos resultados citados na Tabela 7, o único solo que apresenta as propriedades para aplicação em Bloco Técnico é a amostra 2. Contudo, por indicação da fiscalização, não se utilizou solo-cimento nos Blocos Técnicos, mas sim agregado-cimento. A justificativa apresentada para esta mudança foi o facto de um agregado ser mais homogéneo que um solo. O agregado que foi utilizado estava de acordo com as especificações do caderno de encargos.

Através de um estudo específico realizado em laboratório, definiu-se a baridade seca máxima ( $Y_{d_{max}}$ ) igual a 2,29 g/cm<sup>3</sup> e teor ótimo em água ( $W_{opt}$ ) igual a 6,40%.

O controlo de compactação do agregado-cimento em Bloco Técnico deu-se na zona da PH (PK 89+725) (Figura 31). Os resultados referentes ao controlo de compactação estão apresentados nas tabelas 19 e 20.

**Figura 31.** Aplicação e controlo do agregado-cimento no Bloco Técnico. Imagens obtidas em 15/03/2019.



**Tabela 19.** Resultados médios da baridade húmida e seca e do teor em água por camada - Bloco Técnico.

<b>Camada</b>	<b>MÉDIA Baridade Húmida (kg/m³)</b>	<b>MÉDIA Teor em Água (%)</b>	<b>MÉDIA Baridade Seca (kg/m³)</b>
1ª	2386	5,8	2259
2ª	2396	5,9	2261
3ª	2393	5,4	2270
4ª	2402	5,5	2277
5ª	2396	5,4	2274

**Tabela 20.** Resultados do grau de compactação do agregado-cimento - Bloco Técnico.

<b>Camada</b>	<b>MÉDIA (%)</b>	<b>MÁXIMO (%)</b>	<b>MINIMO (%)</b>	<b>DESVIO PADRÃO</b>
1ª	98,7	99,4	97,9	0,75
2ª	98,7	99,8	98,2	0,64
3ª	99,1	99,7	98,6	0,48
4ª	99,4	100,4	98,5	0,59
5ª	99,4	100,8	97,9	0,77

Os resultados obtidos evidenciam a conformidade com o caderno de encargos, com valores de teor em baridade e teor em água muito próximos dos obtidos em laboratório, e grau de compactação, em média, maior que 98% por camada.

### 3. CONCLUSÕES

Tendo como objetivo a caracterização geológico-geotécnica de seis solos através da realização de ensaios laboratoriais (análise granulométrica, limites de consistência, equivalente de areia, azul de metileno e ensaio de compactação Proctor) foi possível determinar a possibilidade de uso de solos em obra ferroviária. Os ensaios de controlo de compactação *in situ* permitiram validar a aplicação em obra.

Entre as seis amostras caracterizadas, somente duas apresentaram características passíveis de aplicabilidade em obra (amostras 2 e 5). A amostra 5, classificada como SM (d) – Areia Siltosa e A-2-4(0) de acordo com a classificação rodoviária, cumpre os requisitos do caderno de encargos para aplicação em aterros homogêneos. Este solo foi aplicado na infra-estrutura da estrutura ferroviária.

Na avaliação do grau de compactação, constatou-se que as 8 camadas apresentaram médias entre 95% e 98%. O caderno de encargos faz referência a 98% de compactação para solos do tipo S3, porém, por indicação da fiscalização, aprovou-se as camadas com grau de compactação maior que 95%. Em relação à diferença entre a baridade seca máxima e o teor em água obtidos em laboratório e *in situ*, pode justificar-se devido a grande heterogeneidade do material.

A amostra 2, classificada como SW-SM – areia bem graduada com silte e A-2-4(0) de acordo com a classificação rodoviária, foi utilizada na fundação do Edifício Técnico e poderia ser aplicada também em Bloco Técnico. No Edifício Técnico o grau de compactação variou entre 96% e 100%, apresentando conformidade com o caderno de encargos. No Bloco-Técnico optou-se pela utilização do agregado-cimento, que cumpriu as especificações e apresentou valores de compactação maiores ou iguais a 98%, valores de compactação que poderiam ser mais difíceis de alcançar com um solo.

De um modo mais geral, verifica-se que os objetivos do estágio foram atingidos uma vez que a partir dos resultados obtidos através dos ensaios de caracterização laboratoriais foi possível definir os solos que seriam aplicados na obra de reabilitação de via ferroviária. Foi ainda possível verificar *in situ* a conformidade da aplicação dos solos, ou seja, os objetivos foram cumpridos.

Do ponto de vista pessoal, a oportunidade de realização deste estágio curricular permitiu vivenciar na prática os ensinamentos académicos. Além de aprender, foi possível praticar os ensaios laboratoriais bem como os ensaios *in situ*. Também, foi de suma importância estar inserida em um contexto empresarial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFNOR (1990). **Granulats. Essai au bleu de méthylène. Méthode à la tache.** NF P 18-592, *Association Française de Normalisation*, France.

ALMEIDA, G. C. P. **Caracterização física e classificação dos solos.** 1 ed. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2005. 132 p.

AMERICAN NATIONAL STANDARD – ASTM – D2487 (1985). **ASTM D 2487-85: Standard Classifications of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).**

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM - D6938 (2017). **ASTM D 6837-17: Standard Test Method for In-Place Density and Water Content of Soil and Soil-Aggregate by Nuclear Methods (Shallow Depth).**

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS - AASHTO (1987). **M145 – The Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes.**

CADERNO DE ENCARGOS. **Linha do Minho troço Viana do Castelo/Valença-fronteira: Projeto de Execução, Volume 4, Tomo 1.** Lisboa: IP Engenharia, 2017. 156 p.

CAPUTO, H. P., **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações: Fundamentos.** 6 ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnico e Científicos Editora S.A., 1988. 244p.

CHIOSSI, Nivaldo. **Geologia de engenharia.** 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 421 p.

CUNHA, R. A. F. **Contribuição para a Metodologia de Estudo de Melhoria de um Solo com Cimento no Âmbito de uma Obra Rodoviária.** Tese de Mestrado. Universidade Fernando Pessoa, Portugal, 2014.

DAS, B. M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. 6 ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

DIRECÇÃO-GERAL DE AGRICULTURA DE ENTRE DOURO E MINHO - DRAEDM. **Carta de Solos e Carta da Aptidão da Terra para a agricultura (1:100.000) de Entre Douro e Minho: memórias**. Agroconsultores e Geometral, Lisboa, 1995.

DNIT. **Manual de pavimentação**. 3 ed. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2006. 274 p.

DRAEDM - AGROCONSULTORES & GEOMETRAL. **Carta de Solos e Carta da Aptidão da Terra de Entre-Douro e Minho, Escala 1:100000**. Peças Desenhadas e Memórias Descritivas. Braga, 1995.

FABBRI, G.T.P. **Caracterização da fração fina de solos tropicais através da adsorção de azul de metileno**. 101p. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Brasil, 1994.

FERNANDES, M. M. **Mecânica dos solos**. 1 ed. Porto: FEUP, 1994. 619 p.

FERREIRA DA SILVA, A. T. A. **Controlo da compactação com recurso a gamadensímetro – Caso de estudo: ETAR de Castelo Branco**. Tese de Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal. 2013.

INFRAESTRUTURAS DE PORTUGAL. **Rede**. Disponível em: <<http://www.infraestruturasdeportugal.pt/>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

KRYNINE, D. P.; JUDD, W. R. **Principios de geología y geotecnia para ingenieros: Geología, mecánica del suelo y de las rocas, y otras ciencias geológicas empleadas en ingeniería civil**. 4 ed. Barcelona: Ediciones Omega, 1980. 805 p.

LEMONS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3 ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 84 p.

LNEC (1966). *Especificação E 195-1966, Solos – Preparação por via seca de amostras para ensaios de identificação*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

LNEC (1966). *Especificação E 197-1966, Solos – Ensaio de compactação*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

LNEC (1967). *Especificação E 198-1967, Solos - Determinação do CBR*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

LNEC (1967). *Especificação E 199-1967, Solos - Ensaio de Equivalente de Areia*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

LNEC (1970). *Especificação E 239-1970, Solos - Análise granulométrica por peneiração húmida*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

NP (1969). *Determinação dos Limites de Consistência, NP-143, Norma Portuguesa e Especificação do LNEC para solos*. Lisboa: Laboratório Nacional da Engenharia Civil.

NP (2016). *Ensaaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 6: Determinação da massa volúmica e de absorção de água, EN-1097-6, Norma Portuguesa e Especificação do LNEC para solos*. Lisboa: Laboratório Nacional da Engenharia Civil.

PEREIRA, H. S. *A construção da rede ferroviária do Minho (1845-1892)*. Disponível em: <ler.letras.up.pt/uploads/ficheiros/8823.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2019.

PINTO, C. S. *Curso básico de mecânica dos solos*. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 363 p.

RIBEIRO, A. et al. *Introduction à la géologie générale du Portugal*. Lisboa: Serviço Geológico de Portugal, 1979. 114 p.

SANTOS, J. A. *Ensaaios de caracterização em solos*. Disponível em: <<http://www.civil.ciist.utl.pt/~jaime/capitulo2.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

TEIXEIRA, C.; MEDEIROS, A.; COELHO, A. *Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50.000: Notícia Explicativa da Folha 5-A – Viana do Castelo*. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal, 1972. 43 p.

TEIXEIRA, C.; MEDEIROS, A.; COELHO, A. **Carta Geológica de Portugal**. 5-A (Viana do Castelo). Instituto Geográfico e Cadastral, Lisboa, 1970.

TEIXEIRA, C.; ASSUNÇÃO, C. T. **Carta Geológica de Portugal na escala 1/50.000**: Notícia Explicativa da Folha 1-C – Caminha. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal, 1961. 41 p.

TEIXEIRA, C.; ASSUNÇÃO, C. T. **Carta Geológica de Portugal**. 1-C (Caminha). Instituto Geográfico e Cadastral, Lisboa, 1961.

TROXLER ELECTRONIC LABORATORIES, I. (s.d.). **Road Reader Nuclear Density Gauges, Models 3430 & 3440**. USA.

VALLEJO, L. G. D. *et al.* **Ingeniería geológica**. 1 ed. Madrid: Pearson Educación, 2002. 744 p.

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos**. 1 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1977. 509 p.

VILLIBOR, D. F. *et al.* **Pavimentos de baixo custo para vias urbanas**: Bases alternativas com solos lateríticos. 2 ed. São Paulo: Arte & Ciência, 2009. 196 p.



## ANEXOS

### Anexo I – Boletim de Análise Granulométrica (Amostra 5)



#### BOLETIM DE ENSAIO

Obra:  Ref. da Amostra:  Origem: - Recolha: Senqual Data de recolha: Data de receção:
--

<b>SOLOS</b> Análise Granulométrica por peneiração húmida Norma de Ref.: LNEC E 239:1971	Boletim nº: AG.XXX.XXX.XX      Data: Data de ensaio Inicial:                      Final: Pág. 1/2
---	--

Massa total da amostra	$m_t$ (0.1 g)	14106,0
Massa retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)	$m_{10}$ (0.1 g)	7147,1
Massa passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)	$m'_{10}$ (0.1 g)	6959,0

Material grosso: $N'_{10}=m_{10} / m_t \cdot 100 = 50,67\%$
Material fino: $N''_{10}=m'_{10} / m_t \cdot 100 = 49,33\%$

#### FRACÇÃO RETIDA NO PENEIRO DE 2,00 mm (nº 10)

Peneiros	Massa retida ( $m_x$ ) (0.1 g)	%Retida $N_x=(m_x/m_t) \cdot 100$ (0.01 %)	% acumulada retida ( $N'_x$ ) (0.01 %)	% acumulada que passa ( $N''_x$ ) (0.01 %)
101,6	0,0	0,00%	0,00%	100,00%
76,10	825,0	5,85%	5,85%	94,15%
50,80	655,5	4,65%	10,50%	89,50%
38,10	1267,8	8,99%	19,48%	80,52%
25,40	1111,1	7,88%	27,36%	72,64%
19,00	857,7	6,08%	33,44%	66,56%
9,51	1673,5	11,86%	45,30%	54,70%
4,76 (nº4)	399,0	2,83%	48,13%	51,87%
2,00 (nº10)	357,6	2,54%	50,67%	49,33%
< 2,00				
Total	7147,1			

#### FRACÇÃO PASSADA NO PENEIRO DE 2,00 mm (nº 10)

Massa amostra seca a ensaiar (0.01 g)  $m_a$ : 125,70

Peneiros	Massa retida ( $m_x$ ) (0.01g)	% Retida Total $N_x=(m_x/m_a) \cdot N''_{10}$ (0.01 %)	% Acumulada retida Total ( $N'_x$ ) (0.01 %)	% Acumulada que passa Total ( $N''_x$ ) (0.01%)
0,841 (nº20)	20,25	7,95%	58,61%	41,39%
0,420 (nº40)	29,40	11,54%	11,54%	29,85%
0,250 (nº60)	13,00	5,10%	5,10%	24,75%
0,105 (nº140)	19,55	7,67%	7,67%	17,07%
0,074 (nº200)	6,55	2,57%	2,57%	14,50%
< 0,074	0,75	0,29%		
Total	89,50			

Observações:

## Anexo II – Boletim de ensaio de Limites de Consistência (Amostra 5)



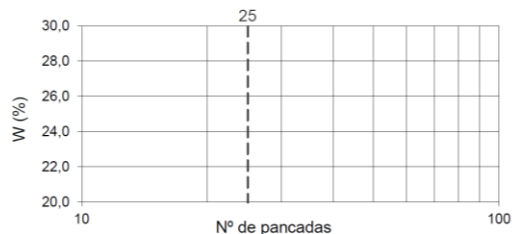
### BOLETIM DE ENSAIO

	Obra:  Ref. da Amostra:  Origem: Recolha: Data de recolha: Data de receção:
--	--

<b>SOLOS</b>  Limites de Consistência  Norma de Ref: NP 143:1969	Boletim nº: LC.XXX.XXX.XX      Data:  Data de ensaio Inicial:                      Final: Pág. 1/1
--	--

Resultados (%)	LL = -
	LP = -
	IP = NP

Limite de Liquidez		Número da Cápsula				
m <sub>1</sub>	Massa da cápsula	(g)				
m <sub>2</sub>	Massa da cápsula + solo húmido	(g)				
m <sub>3</sub>	Massa da cápsula + solo seco	(g)				
m <sub>4</sub> = m <sub>3</sub> - m <sub>1</sub>	Massa do solo seco	(g)				
m <sub>5</sub> = m <sub>2</sub> - m <sub>3</sub>	Massa da água	(g)				
W = (m <sub>5</sub> / m <sub>4</sub> ) * 100	Teor em água	(%)				
		Número de pancadas				



Limite de Plasticidade		Número da Cápsula				
m <sub>1</sub>	Massa da cápsula	(g)				
m <sub>2</sub>	Massa da cápsula+solo húmido	(g)				
m <sub>3</sub>	Massa da cápsula+solo seco	(g)				
m <sub>4</sub> =m <sub>3</sub> -m <sub>1</sub>	Massa do solo seco	(g)				
m <sub>5</sub> =m <sub>2</sub> -m <sub>3</sub>	Massa da água	(g)				
W=(m <sub>5</sub> /m <sub>4</sub> )*100	Teor em água	(%)				

Observações:  
Solo não plástico

### Anexo III – Boletim de ensaio de Equivalente de Areia (Amostra 5)



#### BOLETIM DE ENSAIO

	Obra:
	Ref. da Amostra:
	Origem:
	Recolha:
	Data de recolha:
	Data de receção:

<b>SOLOS</b>  Equivalente de Areia  Norma de Ref: LNEC E 199: 1967	Boletim nº: EAS.XXX.XXX.XX	Data:
	Data de ensaio	
	Inicial:	Final:
	Pág. 1/1	

Número da Proveta	1	2
-------------------	---	---

W	Teor em água do solo (%)	0	0
$M=120 \cdot (100+W)/100$	Massa do provete de ensaio (g)	120	120

k	Constante do Aparelho	60	60
$d_1$	Distância do nível superior da suspensão argilosa ao traço sup. da proveta (mm)	42	44
$d_2$	Distância entre a base do peso e o topo superior da esfera do pistão (mm)	121	122
$h_1 = 380 - d_1$	Distância da base da proveta ao nível superior da suspensão argilosa (mm)	338	336
$h_2 = d_2 - k$	Distância da base da proveta ao nível superior da areia (mm)	61	62

$EA = h_2 / h_1 \cdot 100$	Equivalente de Areia (%)	Valor individual	18,0	18,5
		Valor Médio	18	

Anexo IV – Boletim de ensaio da determinação do valor de Azul de Metileno (Amostra 5)



BOLETIM DE  
ENSAIO

	Obra:  Ref. da Amostra:  Origem: Recolha: Data de recolha: Data de receção:
--	--

<b>SOLOS</b>  Determinação do valor de Azul de Metileno  Norma de Ref.: Afnor P 18-592:1990	Boletim nº: AZMS.XXX.XXX.XX      Data: Data de ensaio Inicial:                      Final: Pág. 1/1
---	--

W	Teor em água	0,0	(0.1 %)
f	Teor em finos	16,2	(0.1 %)
M <sub>h</sub>	Massa inicial de ensaio	185,2	(0.1 g)
M	Massa seca dos retidos no # 0,074 mm e # 0,50 mm	166,8	(0.1 g)
q	Massa de finos submetidos a ensaio	18,4	(0.1 g)

v'	Volume de solução adsorvida pela caulinite	40	ml
V <sub>1</sub>	Volume de solução adicionada	50	ml
V <sub>Sta</sub>	Valor de Azul de Metileno: V <sub>1</sub> - V' / q	0,5	

## Anexo V – Boletim de ensaio da Classificação Unificada (Amostra 5)



### BOLETIM DE ENSAIO

	Obra:
	Ref. da Amostra:
	Origem:
	Recolha:
	Data de recolha:
	Data de receção:

<b>SOLOS</b>  Classificação Unificada  Norma de Ref.: ASTM D 2487 - 11	Boletim nº: CU.605.005.18	Data: 20/11/2018
	Data de ensaio	
	Inicial: 14/11/2018	Final: 20/11/2018
	Pág. 1/1	

Granulometria:	Acumulados passados # nº4 (%)	57,72
	Acumulados passados # nº200 (%)	20,35
	D <sub>10</sub> (mm) -	
	D <sub>30</sub> (mm) -	
	D <sub>60</sub> (mm) -	
	C <sub>u</sub> (mm) -	
	C <sub>c</sub> (mm) -	

Limites de Consistência:	Limite de Liquidez LL (%) -
	Limite de Plasticidade LP (%) -
	Índice de Plasticidade IP (%) N.P.

Classificação do solo:	Símbolo do grupo: SM - (d)
	Nome do grupo: Areia siltosa

Observações:

## Anexo VI – Boletim de ensaio de compactação Proctor (Amostra 5)



### BOLETIM DE ENSAIO

	Obra:
	Ref. da Amostra:
	Origem:
	Recolha:
	Data de recolha:
	Data de receção:

<b>SOLOS</b>  Ensaio de compactação Proctor  Norma de Ref: LNEC E 197:1966	Boletim nº: CP.XXX.XXX.XX      Data:	
	Data de ensaio	
	Inicial:	Final:
	Pág. 1/1	

			Peso do Pilão (kg):	Altura de queda (mm):
Compactação:	x	Pesada: Proctor Modificado	4,54	457
		Leve: Proctor Normal	2,49	305

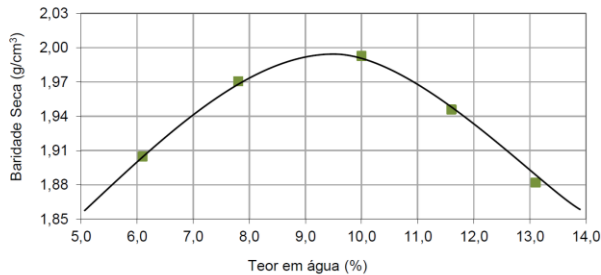
			Volume do molde - V (cm³):	Massa do molde - P <sub>m</sub> (g):
Molde:	x	Grande	2068	6429
		Pequeno		

Número de camadas: 5
Nº de pancadas por camada: 55

Ponto do ensaio		1	2	3	4	5	
P <sub>t</sub>	Massa do solos + molde (g)	10608,5	10822,0	10962,3	10920,0	10830,7	
P=P <sub>t</sub> -P <sub>m</sub>	Massa do solo húmido (g)	4179,5	4393,0	4533,3	4491,0	4401,7	
γ <sub>w</sub> = P / V	Baridade húmida (0.01 g/cm³)	2,02	2,12	2,19	2,17	2,13	
W	Teor em água (0.1 %)	6,1	7,8	10,0	11,6	13,1	
γ <sub>d</sub> = γ <sub>w</sub> / (100+W) x 100	Baridade seca (0.01 g/cm³)	1,90	1,97	1,99	1,95	1,88	

$$\gamma_{d,max} = 1,99 \text{ g/cm}^3$$

$$W_{opt} = 9,7 \text{ \%}$$



Observações:

Como a percentagem de retidos no peneiro de 19 mm > 20% foi realizada correção dos valores de baridade seca máxima e teor em água ótimo (Boletim de ensaio CCP.605.002.19)



## Anexo VII – Boletim de ensaio para determinação da Massa Volúmica e da Absorção de Água (Amostra 5)



### BOLETIM DE ENSAIO

	Obra:
	Ref. da Amostra:
	Origem:
	Recolha:
	Data de Recolha:
	Data de Receção:

<b>AGREGADOS</b>  Determinação da Massa Volúmica e da Absorção de Água  Norma de Ref.: NP EN 1097-6:2016 (secções 7, 8 e 9)	Boletim nº: MVA.XXX.XXX.XX	Data:
	Data de ensaio	
	Inicial:	Final:
	Pág. 1/1	

A	% da fração 0,063 a 4,0	0,0
B	% da fração 4,0 a 31,5	22,0
C	% da fração 31,5 a 63,0	78,0

		Agregado		
		0,063 a 4,0 (mm)	4,0 a 31,5 (mm)	31,5 a 63,0 (mm)
	Método	Picnómetro	Picnómetro	Cesto Rede
M <sub>1</sub>	Massa do agregado saturado com superfície seca ao ar (g)		4609,5	16311,9
M <sub>2</sub>	Massa do picnómetro+provete sat./cesto+provete sat. imersos (g)		9629,1	11468,1
M <sub>3</sub>	Massa do picnómetro com água / cesto imerso (g)		6843,1	1614,6
M <sub>4</sub>	Massa do provete seco em estufa (g)		4442,1	15803,1
T	Temperatura da água (°C)		20,0	19,0
ρ <sub>w</sub>	Massa volúmica da água (Mg/m <sup>3</sup> ) - Anexo D		0,9982	0,9984
ρ <sub>a</sub> =ρ <sub>w</sub> .M <sub>4</sub> /[M <sub>1</sub> -(M <sub>2</sub> -M <sub>3</sub> )]	Massa volúmica do material impermeável das partículas (0,01 Mg/m <sup>3</sup> )		2,68	2,65
ρ <sub>rd</sub> =ρ <sub>w</sub> .M <sub>4</sub> /[M <sub>1</sub> -(M <sub>2</sub> -M <sub>3</sub> )]	Massa volúmica das partículas secas em estufa (0,01 Mg/m <sup>3</sup> )		2,43	2,44
ρ <sub>ssd</sub> =ρ <sub>w</sub> .M <sub>1</sub> /[M <sub>1</sub> -(M <sub>2</sub> -M <sub>3</sub> )]	Massa volúmica das partículas saturadas com sup. seca (0,01 Mg/m <sup>3</sup> )		2,52	2,52
WA <sub>24</sub> =[100.(M <sub>1</sub> -M <sub>4</sub> )/M <sub>4</sub> ]	Absorção de água (0,1 %)		3,8	3,2
ρ <sub>ssd</sub> =ρ <sub>rd</sub> +ρ <sub>w</sub> (1-ρ <sub>rd</sub> /ρ <sub>a</sub> )	Verificação da nota 1 (0,01 Mg/m <sup>3</sup> )		2,52	2,52

Agregados com mais de uma fracção (Cálculo não previsto na norma de referência)	
ρ <sub>a</sub> = ρ <sub>a</sub> (0,063 a 4,0) x A + ρ <sub>a</sub> (4,0 a 31,5) x B + ρ <sub>a</sub> (31,5 a 63,0) x C	2,66
ρ <sub>rd</sub> = ρ <sub>rd</sub> (0,063 a 4,0) x A + ρ <sub>rd</sub> (4,0 a 31,5) x B + ρ <sub>rd</sub> (31,5 a 63,0) x C	2,44
ρ <sub>ssd</sub> = ρ <sub>ssd</sub> (0,063 a 4,0) x A + ρ <sub>ssd</sub> (4,0 a 31,5) x B + ρ <sub>ssd</sub> (31,5 a 63,0) x C	2,52
WA <sub>24</sub> = WA <sub>24</sub> (0,063 a 4,0) x A + WA <sub>24</sub> (4,0 a 31,5) x B + WA <sub>24</sub> (31,5 a 63,0) x C	3,3

Observações:

## Anexo VIII – Boletim de ensaios de correção do ensaio de compactação Proctor (Amostra 5)



### BOLETIM DE ENSAIO

	Obra:
	Ref. da Amostra:
	Recolha:
	Data de recolha:
	Data de receção:

<p align="center"><b>AGREGADOS</b></p> <p align="center">Correcção do ensaio de compactação para agregados (material grosso)</p> <p align="center">Norma de Ref.º: PIE.002.1</p>	<p>Boletim nº: CCP.XXX.XXX.XX      Data:</p> <p>Data de ensaio</p> <p>Inicial:                      Final:</p> <p>Pág. 1/1</p>
--	--

Ensaio Realizados	Boletim nº
Compactação Proctor	CP.XXX.XXX.XX
Determinação das Massas Volúmicas	MVA.XXX.XXX.XX
Análise Granulométrica	-

p <sub>g</sub>	% elementos retidos no peneiro 19.1 mm (grossos)	%	31
p <sub>f</sub>	% elementos passados no peneiro 19.1 mm	%	69
r	Coefficiente que depende de p <sub>g</sub>	-	0,97
g <sub>g</sub>	Massa volúmica das partículas grossas (retidas no peneiro 19.1 mm)	g/cm <sup>3</sup>	2,52
a	Absorção de água do material retido no peneiro 19.1 mm	%	3,3
W <sub>opt</sub>	Teor em água ótimo no ensaio de compactação (Ensaio Proctor)	%	9,7
g <sub>dmáx</sub>	Baridade seca máxima do material passado no peneiro 19.1 mm (Ensaio Proctor)	g/cm <sup>3</sup>	1,99

Correcção da baridade seca máxima (g/cm <sup>3</sup> ):	2,08
---	------

Correcção do teor em água ótimo (%):	7,7
--------------------------------------	-----

Observações

## Anexo IX – Boletim de ensaio de determinação do CBR (Amostra 5)



### BOLETIM DE ENSAIO

	Obra:
	Ref. da Amostra:
	Origem: -
	Recolha:
	Data de recolha:
	Data de receção:

<b>SOLOS</b>  Determinação do CBR (California Bearing Ratio)  Norma de Ref.: LNEC E 198:1967	Boletim nº: CBR.XXX.XXX.XX	Data:
	Data de ensaio	
	Inicial:	Final:
	Pág. 1/2	

Ensaio sobre:	x	Provetes moldados em lab.		Amostras intactas		O solo "in situ"
---------------	---	---------------------------	--	-------------------	--	------------------

Fase inicial: preparação dos provetes

Nº Pancadas por camada:		12	25	55
Nº do molde:		E889	E891	E888
H	Altura do molde (cm)	11,6	11,6	11,6
V	Volume do molde (cm <sup>3</sup> )	2133,2	2133,2	2133,2
P <sub>m</sub>	Massa do molde (kg)	6401,3	7284,4	7044,5
P <sub>t</sub>	Massa do solo + molde (g)	10688,3	11696,4	11618,4
P = P <sub>t</sub> - P <sub>m</sub>	Massa do solo húmido (g)	4287,0	4412,0	4574,0
$\gamma_w = P / V$	Baridade húmida (0.01 g/cm <sup>3</sup> )	2,01	2,07	2,14
W (antes de embebição)	Teor em água (0.1 %)	7,8	7,8	7,6
$\gamma_d = \gamma_h / (100 + w) \times 100$	Baridade seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,86	1,92	1,99
$\gamma_{d,m\acute{a}x}$	Baridade seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	2,09	2,09	2,09
$\gamma_d / \gamma_{d,m\acute{a}x}$	Grau de compactação (%)	89	92	95

Fase de embebição

Registo da deformação durante o período de embebição  Sobrecarga: 7.5 Kg	Leitura inicial	0,00	2,00	4,00
	Leitura ao fim de 1 dia (24 h)	0,03	2,02	4,05
	Leitura ao fim de 2 dias (48 h)	0,03	2,03	4,05
	Leitura ao fim de 3 dias (72 h)	0,03	2,03	4,05
	Leitura ao fim de 4 dias (96 h)	0,03	2,03	4,05
$(L_t - L_i) / H \times 100$	Expansão relativa (%)	0,3	0,3	0,4

Após embebição

W (após embebição)	Teor em água (0.1 %)	10,7	10,1	9,2
P <sub>t</sub>	Massa do solo + molde (g)	-	-	-



## BOLETIM DE ENSAIO

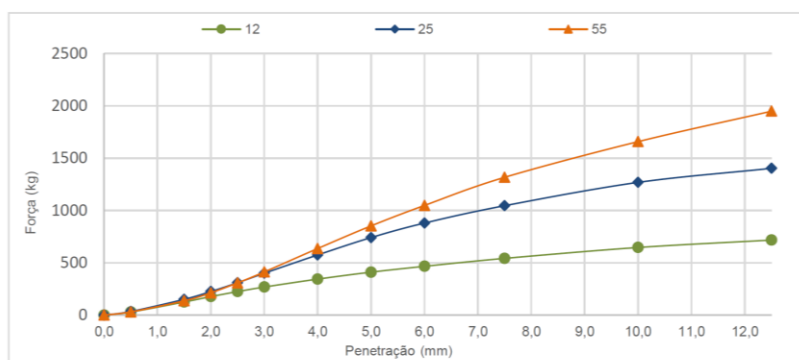
Boletim nº: CBR.605.005.18

Data: 30/11/2018

Pág. 2/2

### Fase de penetração

Nº Pancadas por camada:		12	25	55	12	25	55
Nº do molde:		E889	E891	E888	E889	E891	E888
Dados para o traçado da curva força-penetração	Penetração (mm)	Carga (kN)			Carga (kg)		
	0,0	0,000	0,000	0,000	0	0	0
	0,5	0,287	0,341	0,303	29	35	31
	1,5	1,230	1,480	1,337	125	151	136
	2,0	1,737	2,212	2,091	177	225	213
	2,5	2,206	3,035	3,022	225	309	308
	3,0	2,631	3,924	4,045	268	400	412
	4,0	3,377	5,641	6,242	344	575	636
	5,0	4,029	7,270	8,364	411	741	853
	6,0	4,575	8,629	10,281	466	880	1048
	7,5	5,319	10,256	12,918	542	1045	1317
	10,0	6,342	12,444	16,263	646	1269	1658
	12,5	7,038	13,763	19,117	717	1403	1949



Nº de Pancadas:		12	25	55
Força corrigida - x (kg) (Força corrigida da concavidade inicial, com definição de nova origem)	2,5 mm	247	400	524
	5,0 mm	425	811	1048
Valor de CBR (%) = 100. (x / y) Sendo y a força correspondente à mesma penetração num provete padrão	2,5 mm	18	30	39
	5,0 mm	21	40	52

Observações

## Anexo X – Boletim de ensaio de controlo de compactação com Gamadensímetro (Amostra 5)



### BOLETIM DE ENSAIO

	Obra:
	Referência:

<b>SOLOS</b> Controlo de compactação com Gamadensímetro Norma de Ref.: ASTM D6938-17	Boletim nº: TRS.XXX.XXX.XX	Data:
	Data de ensaio	
	Inicial:	Final:
	Pág. 1/1	

Valores obtidos no ensaio de compactação Proctor Boletim nº: CP.XXX.XXX.XX Correção (caso exista): CCP.XXX.XXX.XX Amostra nº: Ref. da Amostra: Baridade seca máxima: $\rho_d \text{ máx} = 2,08 \text{ g/cm}^3$ Teor em água máximo: $W_{\text{opt}} = 7,70 \%$ Descrição visual do material ensaiado: Solo amarelado	Esboço 
---	------------

Equipamento utilizado	Código do equipamento: E005	Número de série: 26028
-----------------------	-----------------------------	------------------------

Ensaio nº	Localização / Cota	Profundidade de Ensaio (cm)	Baridade humidade $\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}$	Teor em água $W \text{ (}\%\text{)}$	Baridade seca $\rho_d \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\rho_d / \rho_d \text{ máx} \times 100 \text{ (}\%\text{)}$
1	PK 89+750.0	0	2230	7,9	2068	99,4
2	PK 89+737.0	0	2239	7,3	2087	100,3
3	PK 89+725.0	0	2165	8,8	1989	95,6
4	PK 89+712.0	0	2169	8,6	1996	96,0
5	PK 89+700.0	0	2162	7,5	2011	96,7
6	PK 89+689.0	0	2174	8,9	1996	96,0
7	PK 89+675.0	0	2181	8,0	2020	97,1
8	PK 89+663.0	0	2171	8,2	2006	96,4
9	PK 89+650.0	0	2142	8,4	1977	95,0
			2181	8	2017	97,0

Observações:

Trabalho de campo realizado por:  
Alargamento da Via ao PK 89 + 700.0 -1ª camada